

工學碩士 學位論文

영상강화 카메라를 이용한 가정용  
냉장고내의 냉기 유동특성에  
관한 연구

Study on Cold Air Flow Characteristics in a Domestic  
Refrigerator Using an Image Intensifier CCD Camera

指導教授 李 英 浩

2002年 2月

韓國海洋大學校 大學院

冷 凍 空 調 工 學 科

洪 錫 鎬

# 목 차

Abstract .....	i
기호설명 .....	iii
제1장 서론 .....	1
제2장 실험 및 영상처리 .....	3
2.1 실험장치 .....	3
2.2 PIV의 개요 .....	6
2.3 PIV 시스템의 구성 .....	17
2.3.1 조명 및 추적입자 .....	17
2.3.2 화상입력장치 및 저장장치 .....	19
2.3.3 이미지 보오드 .....	20
2.4 영상처리 .....	22
2.4.1 전처리 .....	22
2.4.2 동일입자 추적 .....	27
2.4.3 후처리 .....	34

제3장 결과 및 검토 .....	35
3.1 냉동실의 순간 및 시간평균 속도분포 .....	35
3.2 냉장실의 순간 및 시간평균 속도분포 .....	72
3.3 평균운동에너지 분포 .....	88
3.4 냉동실 및 냉장실 속도분포비교 .....	105
제4장 결론 .....	109
참고문헌 .....	111
감사의 글 .....	113

# Study on Cold Air Flow Characteristics in a Domestic Refrigerator Using an Image Intensifier CCD Camera

*Suk Ho Hong*

*Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering  
Graduate School, Korea Maritime University*

## Abstract

Environmental concerns and the restriction policy on the energy efficiency require continuous improvements in refrigerator energy efficiency. Hence, it is very important to manufacture household refrigerators with the shroud form and cold air flow that are economically acceptable. This study has been performed on cold air flow characteristics in a domestic refrigerator which sizes are 400mm x 410mm x 670mm of the freezer and 510mm x 710mm x 670mm of the cold storage room with a fan. The domestic refrigerator is divided into two completely parts, which one is for cooling the freezer and the

other is for cooling the food room. This domestic refrigerator has an evaporator, in which is located the freezer compartment. The experiments were conducted at three different internal temperatures in the freezer ;(5°C, 15°C, 30°C) and in the cold storage room ;(10°C, 30°C). It was showed that the rate of cold air distribution into freezing room and cold storage room was almost 7 : 3. This experimental investigation indicates that the velocity of cold air flow of 40mm, 80mm, 370mm and 670mm sections are faster than other sections. The first objective of this work was the analysis of the result to obtain insight regarding the effects of the variables and to assess the cold air flow characteristics at three different internal temperatures in the freezer and at two different internal temperatures cold storage room. The second consideration was to develop refrigerator energy consumption. in other words, This paper presents to improve that the energy efficiency of the refrigerator.

## Nomenclature

$C_{fg}$	:	Cross-correlation coefficient
$f_i$	:	Grey level of 1st frame
$g_i$	:	Grey level of 2nd frame
K.E.	:	Kinetic energy
$\Delta t_1$	:	Time of integrated image
$\Delta t_2$	:	Time interval between odd and even field
$U$	:	Representative velocity
$u, v$	:	Velocity in the x, y-direction
$\alpha$	:	Rotation angle

## 제1장 서론

고대 그리스·로마 시대에는 산꼭대기로부터 눈을 운반해서 짚으로 덮어 저장해두고, 냉과(冷菓)를 만드는데 사용하였다고 하며 확실한 식품 냉동보존은 1683년에 현미경이 발명된 이후이다. 현미경에 의해서 박테리아, 효소, 곰팡이 등의 미생물은 열이 있으면 번식하고, 10℃ 이하의 온도에서는 활동이 억제된다고 알려져 있다. 즉 저온으로 온도를 낮추면 미생물의 성장을 제어할 수 있다. 1834년에 최초의 냉동기의 특허가 영국에서 인정되었다. 이것이 현재 냉동장치의 원리이다. 20세기에 들어와 소형 전동기가 개발되어, 가정에서도 전기 냉장고를 사용하게 되었다. 사회의 발달과 생활수준의 향상으로 인간의 쾌적한 환경에 대한 욕구는 증가하고 있으며 이에 부합하여 가정용 냉장고(Domestic Refrigerator)의 대형화 추세에 따라 냉장고의 소비전력량을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있으며 실용성 및 에너지절약의 관점에서 냉기의 적절한 분배와 순환에도 중요시 되고있다. 냉장고의 소비전력에 영향을 주는 인자는 주위온도, 적재량, Cycle loss, door 개폐 빈도 등이 있지만, 무엇보다 냉장고 내부의 냉기흐름을 정량적으로 해석하는 것이다. 본 연구는 냉장고 내 냉동실 및 냉장실에서의 온도의 변화에 따른 냉기의 분포와 흐름특성을 정량적으로 해석하는 것으로 연구를 수행하였다. 냉기순환 및 분배는 냉기 duct의 위치, 크기 그리고 냉기순환용 팬의 소비동력 등에 따라서 변화하며, 냉기의 적절한 분배를 위한 최적의 duct 시스템 설계는 상당히 어려운 기술로 여겨지고 있다. 그러므로 가정용 냉장고의 냉기의 가시화 및 속도 변동특성을 정량적으로 해석하는 것은 마찰손실의

저감을 위한 최적 형상 설계에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 한편 실제 냉장고 내부 유동장의 입체적인 냉기 순환을 위하여 곡면설계, 냉기 유출 슬롯의 각도 및 damper 부착 등이 매우 중요하나 이러한 상용 냉장고의 효율개선을 위한 내부 유동이 속도계측 연구는 본격적으로 이루어지지 않고 있다.

과거의 연구를 살펴보면 이영호 등<sup>[1]</sup>은 가정용 냉장고 모형을 제작하고 PIV기법을 이용하여 증발기 실내 냉기 유입 부를 수조(水曹)에서 해석하였다. 오민정 등<sup>[2]</sup>은 냉장고 내부 형태를 단순화하여 순환 유동에 대한 수치해석 연구를 수행하였다. 배승조 등<sup>[3]</sup>은 냉장고 모형을 제작하여 PIV계측을 실시하고 수치해석 결과와 비교하였다. 그리고 김진영 등<sup>[4]</sup>은 본 연구와 같은 500ℓ급 냉장고의 냉동실에 대하여 선반(shelf)장착 후 속도분포를 고찰하였으며 이영환 등<sup>[5]</sup>은 냉동실 내부의 결빙 및 착상량 최소화를 수치해석 연구를 수행하였다. 이와 같은 배경으로 본 연구에서는 현재 가정에서 사용되고 있는 냉장고 500ℓ 모델을 선정 PIV기법으로 냉장고의 넓은 유동장에서 영상 강화 카메라를 사용하여 냉기 유동특성 및 온도 변화에 따른 냉기의 흐름에 관한 연구를 수행하는 것을 목적으로 하였다.



## 제2장 실험 및 영상처리

### 2.1 실험장치

Fig. 2.1은 가정용 냉장고 내부의 냉기순환 및 냉기 분배에 관한 냉장고의 개략도이고 Fig. 2.2는 냉장고 내부에서의 냉기 흐름도이다. 일반적으로 가정용 냉장고의 증발기는 본 그림과 같이 냉동실의 뒷부분에 위치하고 있다. Fig. 2.2 에서와 같이 증발기는 냉동실 뒤쪽에 위치하며 증발기 앞면에는 냉기를 순환시키기 위한 fan이 fan base에 부착되어 있고 fan의 앞쪽에 shroud가 있어 냉기를 냉동실과 냉장실로 적절히 분배하여 준다. 냉기는 팬에 의해 강제 순환하며 shroud에 충돌한다. 충돌된 냉기는 냉기 유출 구를 통해 냉동실에 유입되며 냉기유로를 통하여 냉장실의 냉기 유출 구를 통하여 냉장실로 유입된다. 이렇게 유입된 냉기는 다시 return duct로 흡입되어 연속적으로 순환한다. 냉동실과 냉장실의 비율이 7 : 3으로 더욱 많은 냉기가 냉동실에 분배되는데 그 이유는 냉동실로 통하는 냉기 순환경로의 유동저항이 냉장실보다 작기 때문이고 냉기 유출구 크기 및 냉기 유동경로가 변화될 경우 분배되는 유량비도 이에 따라 달라진다. 더구나 가정용 냉장고의 냉동실과 냉장실 사이에는 damper가 설치되어 냉장실의 온도가 적정 수준으로 떨어지면 damper가 닫힘으로 냉동실 냉기 흐름 및 유량에 변화가 생긴다.

냉동실의 냉기흐름을 완전하게 계측하기 위해서는 3차원의 측정 시스템을 구축해야 하지만 본 연구에서는 Fig 2.3처럼 기준 좌표 계 후방 하부 모서리 기준으로 하여 x, y, z축으로 정하여 2차원 PIV계

측을 실시하였고 순간 또는 시간평균 속도분포를 제시하였다. 그리고 영상 입력장치로는 영상강화 CCD 카메라 (Hamamats사, C4273MOD)를 사용하여 넓은 계측면적에 대응하도록 하였다<sup>[4]</sup>. 본 연구에서는 냉동실 및 냉장실의 온도변화에 따른 유동특성을 고려하여 유체역학의 관점에서 대상 유동장의 속도분포 특성을 나타냈다. 냉동실의 온도변화는 30℃, 15℃, 5℃로 주었으며 냉장실내는 30℃, 10℃로 변화를 주어 연구를 수행했다.

이때의 냉동실 냉기순환 팬의 회전수는 2,150rpm로 일정하게 작동한다. 본 연구에서는 Fig. 2.3~2.6 에서와 같이 냉동실 400mm×410mm×670mm과 냉장실 510mm×710mm×670mm size로 냉동실 및 냉장실 전체 유동장을 계측할 수 있게 하였으며, 외벽은 두께 2mm의 얇은 투명 아크릴로 제작하여 레이저 빔의 산란을 줄이도록 하였다. 한편, 냉동실 및 냉장실 도어도 시트 라이트(Sheet light)를 형성할 수 있도록 두께 2mm 아크릴로 제작하였다. 한편, 냉동실 선반(shelf)을 제거하여 온도의 변화에 따른 냉기유동의 흐름의 변화를 계측하였다. 그리고 Fig. 2.3에서 냉기흐름을 전체적으로 계측하기 위해 3차원의 냉동실 유동장에서 냉기 유출구를 z축 방향으로 40mm, 80mm, 140mm, 200mm, 300mm, 370mm, 470mm, 560mm, 670mm의 부등 간격 9등분으로 나누어 계측하였고, x축 방향으로 180mm, 290mm의 부등 간격 2등분으로 나누어 계측하였으며, y축 방향으로 180mm, 220mm, 320mm의 부등 간격 3등분으로 나누어 2차원 PIV계측을 실시하였다. 또한 냉장실은 z축 방향으로 140mm, 190mm, 360mm, 440mm, 540mm, 640mm의 부등 간격 6등분으로 나누어 실험을 수행하였다. Fig. 2.3에서 보는 것과 같이 z축 방향의 수직으로 시트 라이트를 형성하여 9case의 부등 간격으로 나누어 계측

하였다. Photo 2.1은 본 연구에서 측정한 가정용 냉장고 내부 모습이다. Photo 2.2는 실제의 가정용 냉장고와 PIV 실험장치의 배치를 보여주고 있다. 좌측에 영상강화 CCD 카메라<sup>[13]</sup>를 설치하고 정면에서는 토출 슬롯 z방향의 수직수평으로 sheet light를 형성할 수 있도록 배치하였다.

유동가시화를 위한 조명장치로서는 5W 출력의 아르곤-이온 레이저(Coherent사)를 이용하였으며, 작동유체로는 저온의 공기를 이용하였으며 가시화 입자로서 평균직경  $80\mu\text{m}$ 의 복합 수지 입자(091DE expancel)를 사용하였다. 입자의 밀도는  $42\pm 4\text{ kg/m}^3$ 정도로 공기중의 난류유동을 충분히 추종할 수 있는 입자를 선택하였다.

Photo 2.3은 일반적으로 고속유동장의 입력장치로 사용되는 영상강화 CCD 카메라를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 냉장고의 냉동실 및 냉장실의 넓은 유동장 단면에 시트 라이트를 조사하기 때문에 광량이 작아지므로 이를 보강하기 위하여 영상강화 CCD 카메라를 사용하였다. Table 2.1은 제반 실험조건을 나타내고 있다.

## 2.2 PIV의 개요

유체의 유동특성을 파악하는 것은 유체공학 관련의 제반문제를 해결하기 위하여 필수적이다. 지금까지의 유동가시화 기법은 직관적으로 이해하기 쉬운 영상을 제공할 수 있으므로 어떤 복잡한 유동장도 쉽게 이해 될 수 있다는 장점을 가지고 있지만 정량적인 데이터의 부족으로 역학적인 해석이 어렵게 되어 공학적인 측면에서 유체 계측이 보다 중요한 위치를 차지하고 있다. PIV(Particle Image Velocimetry, 입자 영상 유속계)는 종래의 가시화기법과 디지털 영상 처리기술을 접목하여 발전 및 적용단계에 있는 전산유체역학에 필적할 수 있는 유일한 계측기법으로 평가 받고있다. 실험적 방법으로는 LDV(Laser Doppler Velocimetry)나 HWA(열선 유속계)에 의한 점 계측 방법들이 행해져 왔다. 열선 유속계는 계측 시 유동장에 영향을 주므로 정확한 유동계측에 무리가 있으며, 정밀도가 높은 LDV기법은 동시 다 점의 유동 계측이 불가능하다. 그래서 이러한 점 계측 방법은 신뢰성과 정도 면에서 우수한 성능이 입증되었으나 계측기법 고유의 문제점 때문에 유동현상의 기본특성인 동시 다 점 계측이 불가능하다. 유체역학 분야에서 가시화(Visualization)기법은 대상 유동장에 추적입자를 넣고 적절한 조명을 가하여 얻어진 영상을 이용하여 순시 또는 시간평균의 유동장에 대해 유체역학적인 특성을 고찰하기 위한 실험방법으로서 비접촉 방식에 따른 유동자체를 교란시키지 않고 광범위한 공간의 모든 정보를 동시에 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

PIV의 기본원리 <sup>[6]-[9]</sup> 는 유동장의 국소 속도는 어느 한 점을 통과

하는 추적입자가 미소시간 간격동안 이동한 미소 직선거리 및 방향을 알면 쉽게 구해진다. 즉 임의의 입자운동에 요하는 시간간격 및 벡터 변위의 관계로부터 구할 수 있다. 이와 같은 정량적 유동가시화 기법인 PIV는 실험유체 분야 연구에 새로운 변화를 가져왔다. 즉 기존의 점 계측 방법으로는 측정이 불가능했던 국부적인 난류운동의 공간변화를 정확하게 측정하는 것이 가능하게 되었다.

따라서 PIV기법은 LDV 등이 갖는 점 계측의 한계를 근본적으로 해결할 수 있음으로 컴퓨터 관련기술 및 고성능의 영상처리장치의 개발에 힘입어 빠른 기술적 진보를 보이고 있으며 현재에는 다양한 조명장치와 정교한 전자장비에 의한 애니메이션 기법으로 보다 효율적인 유동장을 만들었다<sup>[10] [11]</sup>. 따라서, 보다 효율적인 고속 유동장을 위한 경제적인 PIV시스템에 대한 새로운 접근과 편의성을 갖춘 경제적인 하드웨어의 최적화기술 그리고 이들 기법을 이용한 응용개발 연구가 중요한 과제로 인식되고 있다.

## 2.3 PIV 시스템의 구성

### 2.3.1 조명 및 추적입자

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] 본 실험에서는 광원이 5W 출력의 수냉식 아르곤 이온(Argon-Ion) 레이저가 사용되었으며, 여기에서 나온 직진광이 원통형 렌즈(Cylindrical Lens)를 통하여 2차원적 시이트 라이트를 생성하여 계측 단면에 조사된다. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] PIV는 유동장에 분포된 입자의 미소 시간 간격의 영상을 컴퓨터로 분석하여 속도벡터에 대한 데이터를 얻는 방법이므로 사용하는 입자의 선별기준은 유체와 입자 운동사이의 차이를 최소화를 고려해야 한다. 추적 입자는 유동의 전달(운동량, 에너지, 질량, 전기력 등과 같은 물리량의 이동) 과정을 직접 가시화 하거나 유동 단면에서의 유동 상태량을 파악하는데 사용되므로, PIV 측정기법은 속도의 기본 차원인 길이와 시간을 바로 구하는 유체의 속도 대신에 입자의 속도를 결정하는 간접적인 측정 방식이다. 따라서, 유체와 입자 운동 사이의 차이를 최소

화하거나 없애기 위해서는 유동 입자의 유체 역학적 특성을 점검하여야 한다.

일반적으로 추적 입자는 표면에서의 광 산란성이 좋아야 하고 입자와 유체와의 밀도 차가 적어 유동장에 손상을 주지 않는 것을 선택해야 한다. 입자의 직경은 유체 유동을 추종하기 위해서 작을 수록 좋으나, 입자의 직경은 빛의 산란에 의한 영상을 카메라 등으로 취득할 수 있을 정도로 어느 정도 이상의 크기를 가져야 한다. 그러므로 입자의 결정에 대해 어느 정도 시행착오가 필요했다. 본 연구에서는 크기  $50\mu\text{m}$ 인 복합 수지입자(Expancel 091DE)를 사용하였다.

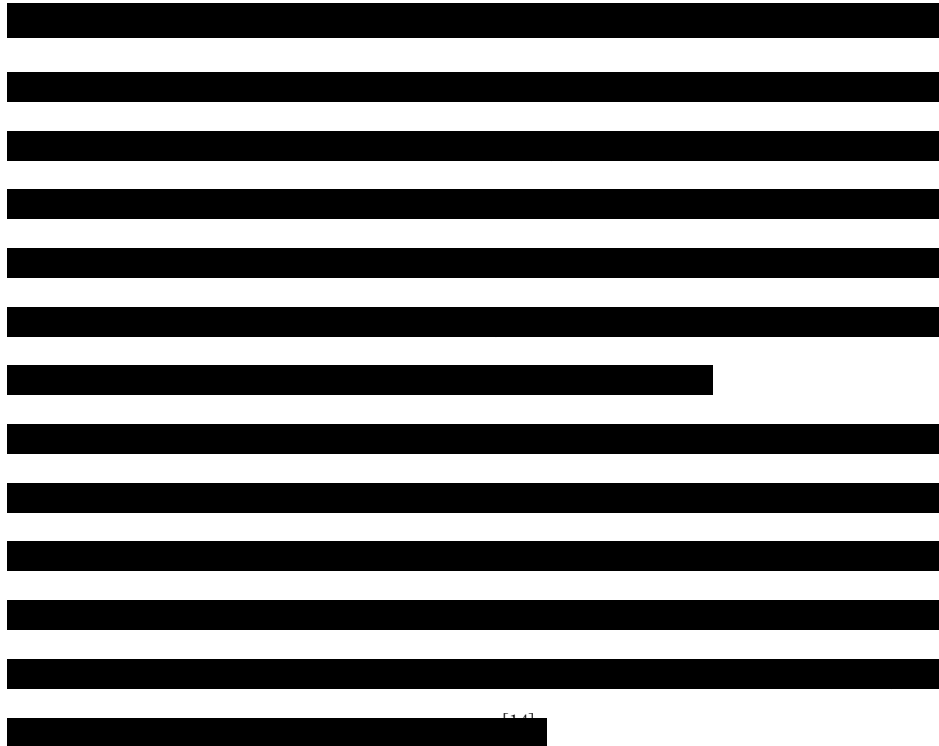
### 2.3.2 화상입력장치 및 저장장치

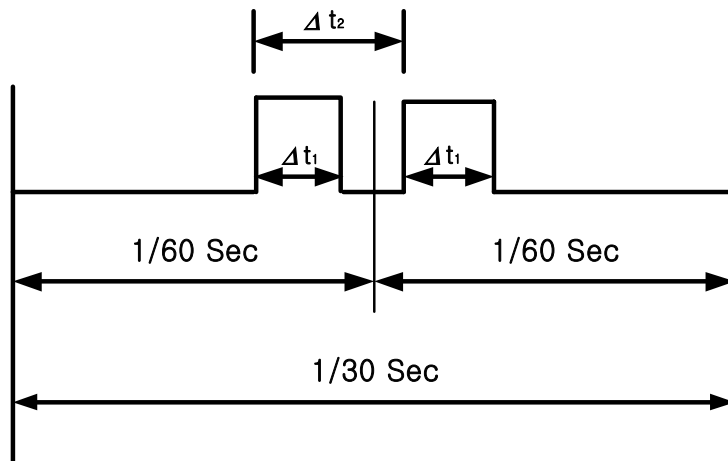
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED] 영상기록은 Hi-8mm 캠코더를 이용하여 재현성을 확보하였다. 영상 저장 장치로는 영상 강화 CCD 카메라(Image Intensifier CCD Camera, Hamamatsu사)를 병행하여 사용하였다. 영상 강화 CCD카메라로 촬영된 영상은 Hi-8mm캠코더에 기록되고 저장된 유동장은 다시 재생 과정을 거쳐 영상 처리 장치에 입력된다. Fig. 2.7은 비디오 신호에서의 펄스 간격과 펄스 폭의 설정 관계를 보여 주고 있다. NTSC(National Television System Committee)방식의 TV 주사에서 1초간 영상은 30 frame의 연속 화면으로 구성되어 있고 1 frame임은 1/60초간 영상은 30 frame의 연속 화면으로 구성되어 있고 1 frame은 1/60초간의 시간 간격을 갖는 짝수 field와 홀수 field의 화면으로 구성된다.



### 2.3.3 이미지 보오드





$\Delta t_1$  = Time of integrated image

$\Delta t_2$  = Time interval between odd and even field

Fig. 2.7 Pulse arrangement in video signal

## 2.4 영상처리

## 2.4.1 전처리

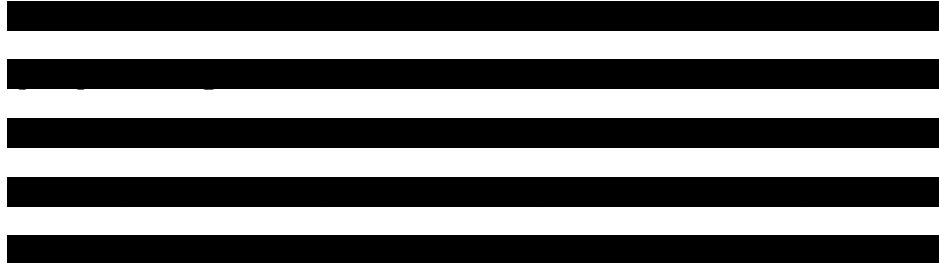
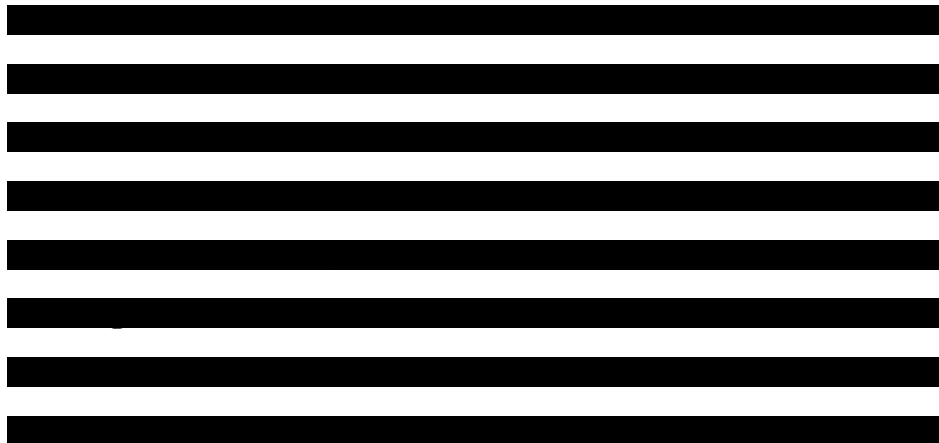
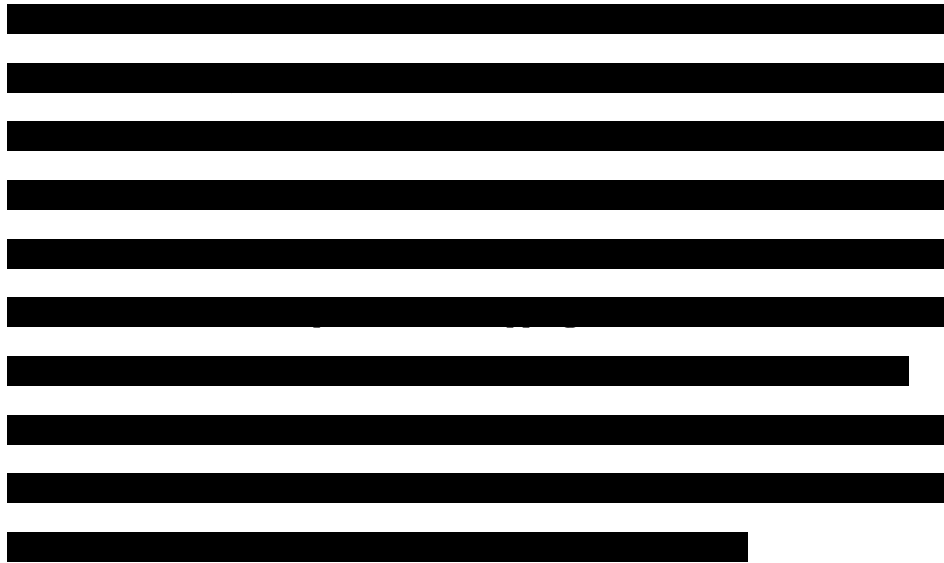
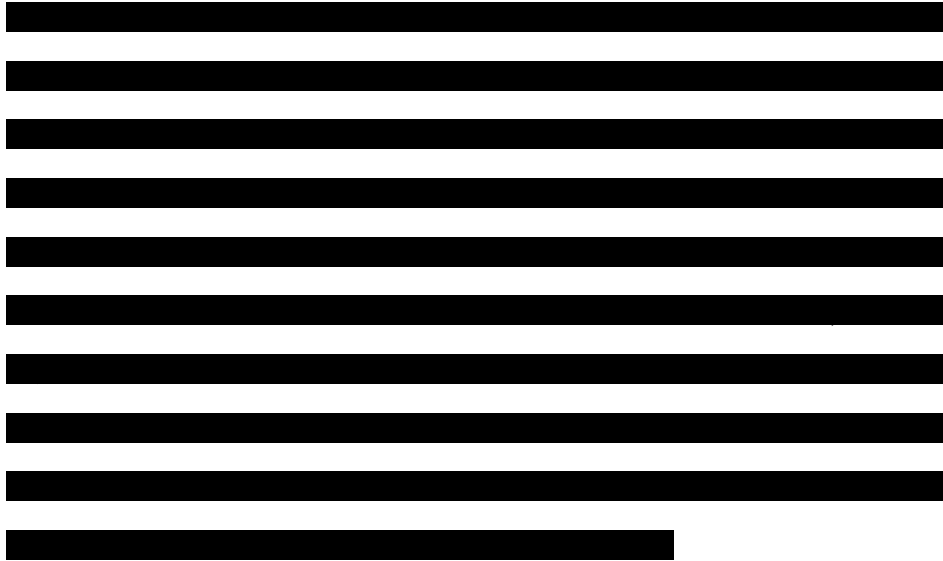


Fig. 2.8은 PIV의 처리 순서 도를 나타낸 것이다. 동일입자추적을 하고자 하는 영상에 잡음(noise)이 포함되어 있을 경우 오류백터 발생을 유발시키는 가장 큰 원인이 된다. 잡음을 제거하는 다양한 필터링 처리가 제안되고 있으나, 배경감산에 의한 처리가 가장 큰 효과를 얻을 수 있다. 원리적으로는 실험을 시작하기 전(입자를 유동장에 주입하기 전)에 촬영된 유동장을 배경영상으로 사용하는 것이 가장 이상적이나, 실질적으로 실험에 임하면 불가능한 경우가 많고, 많은 시간과 노력이 요구된다. 이에 대한 해결 방안으로서 random하게 기록된 수 백개의 영상을 합산한 후 산술 평균하여 실제의 배경과 유사한 영상을 얻는 방법이 있다.





다음 단계로서 잡음이 제거된 영상에 대하여 계측 영역 내 수직 또는 수평인 물체의 윤곽선을 기준으로 영상강화 CCD 카메라에 대한 회전보정을 행하였다. 회전영상의 보정방법으로서 Fig. 2.9와 같은 정방형의 물체가 반 시계 방향으로 각도  $\alpha$ 만큼 회전되어 있다면,  $(x_1, y_1)$ 점을 중심으로 하여 회전된 각도  $\alpha$ 만큼 모든 픽셀의 좌표를 시계 방향으로 각도  $\alpha$ 만큼 회전 이동시켜 주면 된다. 이 때 대상 유동장이 가로축 또는 세로축으로 직선성분의 형상(예를 들면 촬영된 눈금자)을 가지고 있다면 윤곽선 검출을 한 후 최소 자승 법 등으로 간단히 회전량을 검출할 수가 있다. 영상강화 CCD 카메라로 촬영 시 지표면에 대하여 정확한 수평과 수직을 만들 수 없으므로 회전된 각도만큼 모든 픽셀(pixel)의 좌표를 식(2.1), 식(2.2) 그리고 식(2.3)으로 회전 이동시켜 주면 계측에 수반하는 불확실성 성분을 줄일 수 있다. 또한 모니터 상의 영상은 기기의 광학적인 수차에 의하여 불룩한 형태로 만들지만 무시할 수 있을 정도로 미소하드로 속도 벡터에 수반하는 불확실성 성분은 생략하였다.



$$\tan(a) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad a = \tan^{-1} \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.1)$$

$$x'_2 = x_1 + (x_2 - x_1) \cos(a) - (y_2 - y_1) \sin(a) \quad (2.2)$$

$$y'_2 = y_1 + (y_2 - y_1) \cos(a) - (x_2 - x_1) \sin(a) \quad (2.3)$$

(단,  $a$  : 회전 각도,  $x'_2, y'_2$  : 회전 보정후의  $x_2, y_2$ )

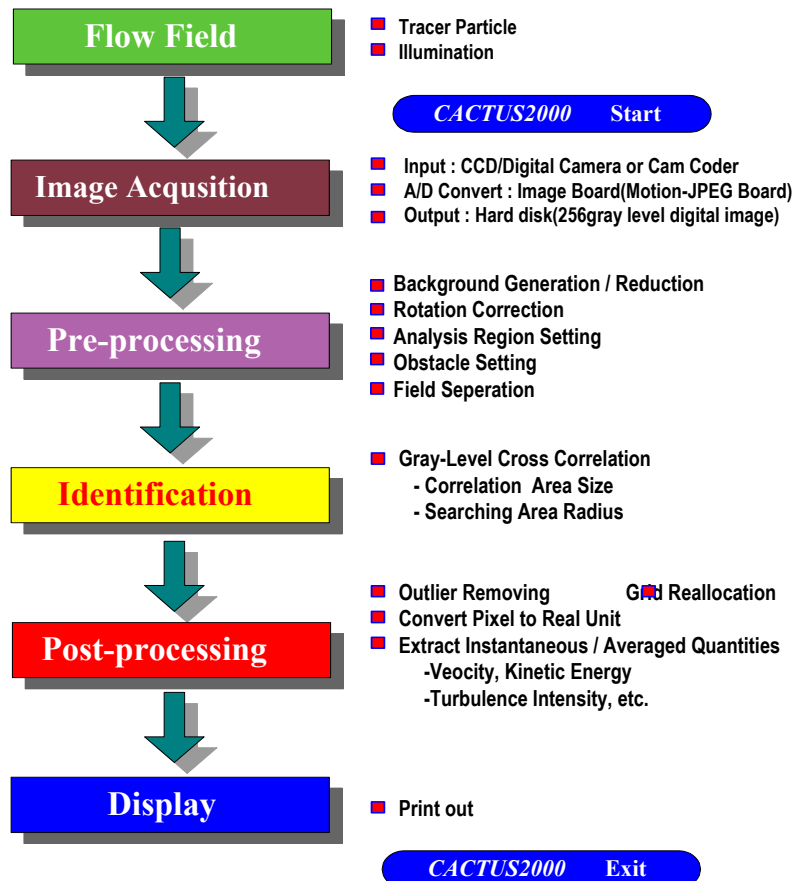


Fig. 2.8 Flow chart of PIV processing

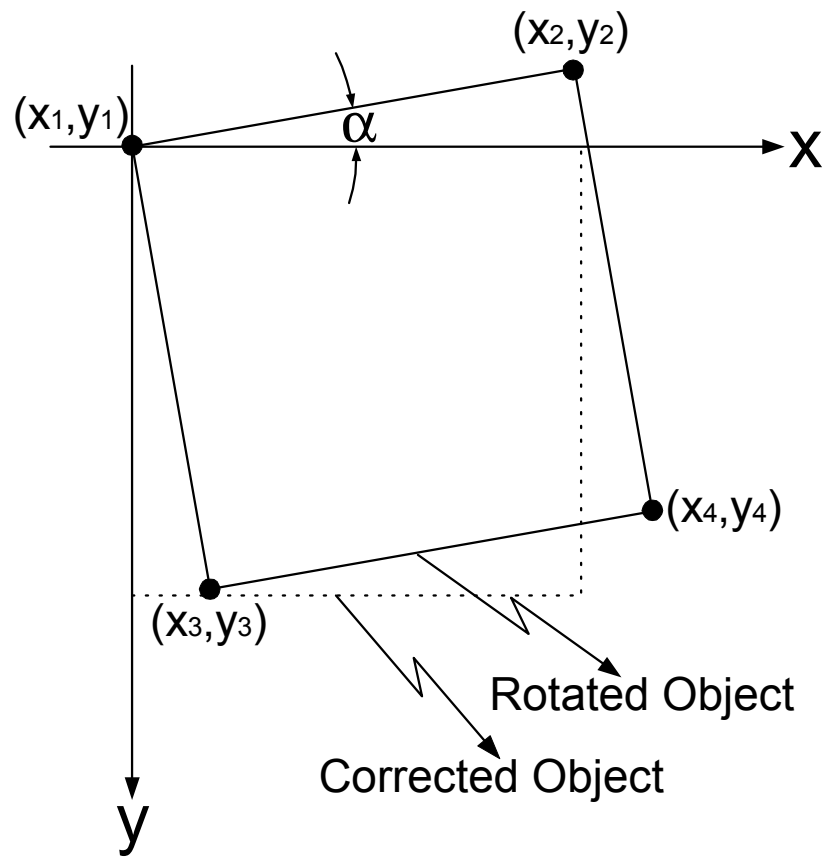


Fig. 2.9 Image Correction by rotation

## 2.4.2 동일입자 추적

속도벡터를 구하는 동일입자 확인의 방법은 원리적으로 PIV계측에 있어서 가장 중요하게 인식되고 있다. PIV를 이용한 측정기법을 본 연구에서와 같이 유동 거동을 충분히 파악할 수 있을 만큼 시간 해상도와 공간 해상도를 가지도록 해야 한다. 초기 PIV 기법에서는 펄스 라이트 시이트에 의해 산란된 입자영상을 필름에 겹쳐 저장하고 유동영상의 미소 조사구간 내 영상을 Young's 프린지 분석이나 광학적 방법으로 조사구간을 대표하는 평균속도를 구하였다. 최근에는 이와 같은 광학적 PIV 기법은 거의 이용되지 않고 있으며, 영상 강화 CCD 카메라를 이용하여 순간 입자영상을 디지털화한 후 조사구간에 대한 상관계수를 직접 계산함으로써 속도장을 구하는 상관방식이 PIV 기법의 주류를 이루고 있다.

PIV의 경우 입자의 개수가 많기 때문에, 입자의 움직임을 직접적으로 파악하기가 힘들게 된다. 따라서 통계학적으로 입자의 움직임을 구하게 되는데, 입자간의 상관계수를 구함으로써 입자의 움직임을 파악한다. 그 방법에는 한 프레임에 모든 영상을 획득하는 자기 상관(auto-correlation) 방법과 두 프레임에 각각 첫 번째와 두 번째 조사에 의한 영상을 획득하는 상호 상관(cross-correlation) 방법이 있다. 자기 상관 법은 같은 프레임에 첫 번째와 두 번째 조사에 의한 입자의 영상이 모두 담겨 있기 때문에 방향성의 문제가 생기게 된다. 반면에 상호 상관 법은 두 프레임에



각각 영상을 획득하기 때문에 방향성은 결정되지만 프레임 공급속도에 의해 측정속도의 한계가 정해지는 단점이 있다. 하지만 최근 카메라의 급격한 발달에 힘입어 상호 상관 법으로도 음속이상을 측정할 수 있게 되면서 방향의 모호성이 없는 상호 상관 법이 많이 쓰이는 추세이다. Fig. 2.10는 계조치 상호상관법의 원리<sup>[15]</sup>를 설명하기 위한 것이다. 미소시간동안에 유동장의 계조치 패턴은 크게 변화하지 않는다고 가정하면 제1 field상에서의 상관영역내의 계조치 분포와 미소시간후의 제2 field상에서의 계조치 분포는 유사한 특성을 나타낸다. 즉 제1 field상의 임의의 위치를 중심으로 하여 제2 field상의 같은 크기를 갖는 영역과의 계조치에 대하여 식 2.4와 같은 상호상관계수를 구하여 비교하면 그중 가장 큰 값을 동일입자의 위치로 간주할 수 있다.

$$C_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i(g-g_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n f_i^2 \sum_{i=1}^n (g-g_i)^2}} \quad (24)$$

단,  $f_i, g_i$  는 상관영역의 각 pixel의 계조치를 의미하며 “-”는 평균을 뜻한다. 여기서 상관 값의 범위는  $-1 \leq C_{fg} \leq 1$  이다. 계조치 상호 상관 법에서는 이와 같은 과정을 프레임 상에 존재하는 모든 입자에 대하여 행함으로써 전 영역의 속도벡터를 효율 좋게 구할 수 있게 된다. 그러나 유동장에 강한 전단 층이 존재하는 부분이나, 고속류의 급격한 회전 등이 있는 경우에는 단시간 내에 유동패턴이 급변하여 계조 패턴의 유사성을 상실하게 된다. 또한 입자가 2차원

시트 라이트 면을 이탈하여 후보 입자 중에 대응하는 입자가 포함되어 있지 않을 경우에도 부적합한 상관 값에 의한 오류백터가 발생한다.

제조치 상호 상관 법을 적용할 때 탐색 반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도백터의 오류발생 및 계산시간의 단축에도 매우 중요하다. 특히 탐색반경은 해석하고자 하는 프레임영상을 기수, 우수필드로 분리하여 이치 화(binary)한 다음 입자의 이동거리를 확인하는 방법을 사용하였다. 최대 이동 거리의 추정은 유동 장 중에서 최대 속도가 발생하는 부근에서 입자의 구별이 명확한 지점에 대하여 행하는 것이 효과적이나 냉장고 내부 유동과 같은 비 정상류에 있어서는 최대 속도부분을 직관적으로 단정할 수는 없으므로 1~20 픽셀(pixel)전후의 값을 취하는 방법을 적용하였다. 탐색 반경은 곧 입자가 이동할 수 있는 최대 거리를 의미하므로 작은 반경은 많은 에러 백터를 발생시키고 예측의 다이내믹 레인지를 제한하여 계산된 최대 속도는 실제 유동 장보다 낮게 나타난다. 또한, 큰 반경도 많은 계산 시간과 불필요한 오류 백터를 수반한다. 본 연구에서는 경험적으로 냉동실은 10~12픽셀(pixel)전후의 값을 취하였고, 냉장실은 6~8픽셀(pixel)전후의 값을 취하는 것이 오류백터가 가장 적다고 판단하여 조절하였다. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED] 펜티엄(CPU 733MHz)에서 약 30~40초가 소요되었다.

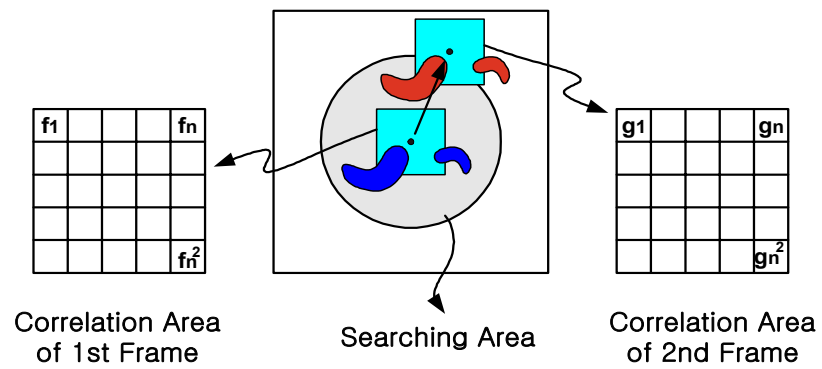
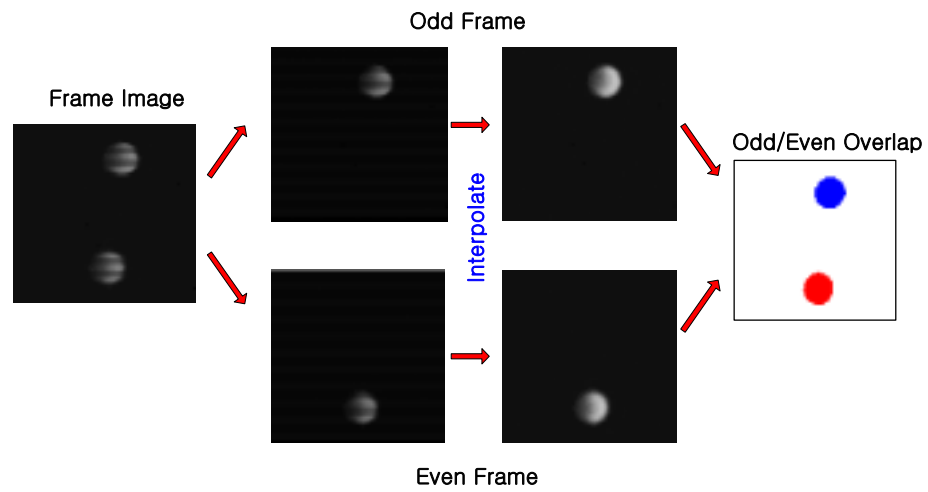
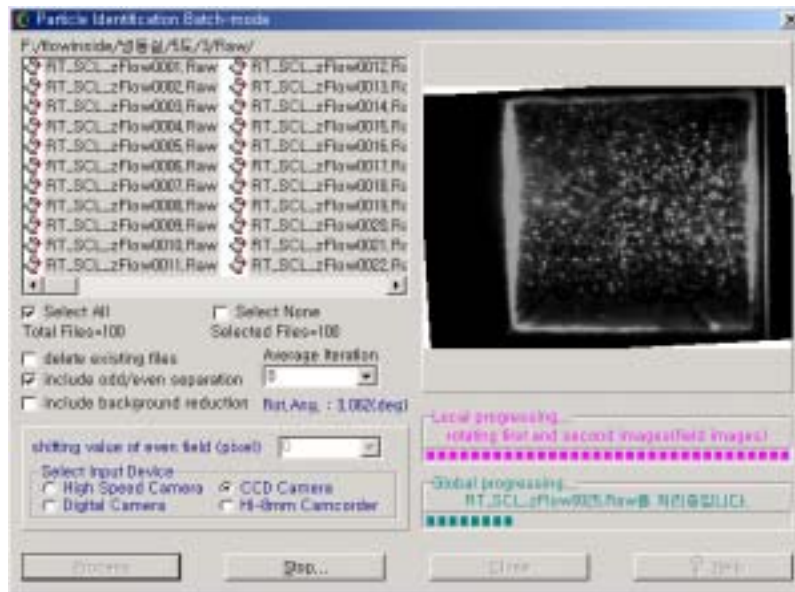
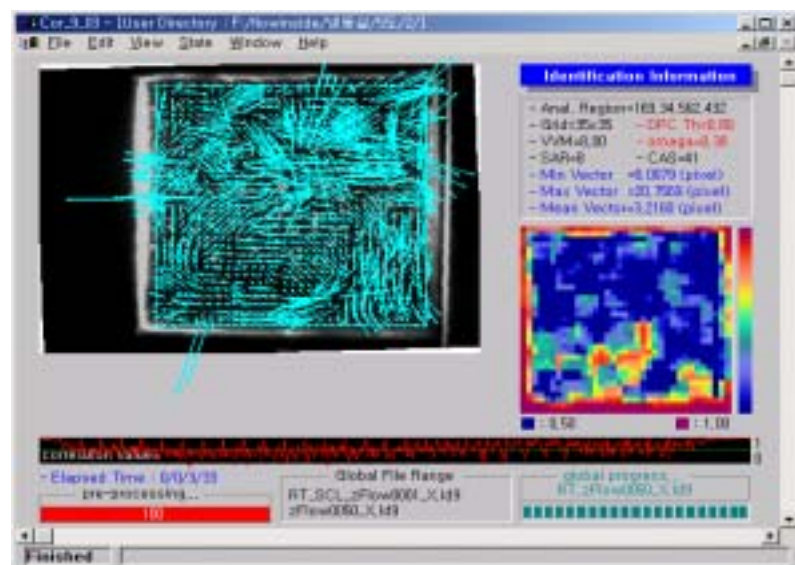


Fig. 2.10 Principle of cross-correlation coefficient



(a)



(b)

Fig. 2.11 Menu of particle identification on s/w

Table 2.2 Identification condition

	Domestic Refrigerator		
	Freezer Room		Cold-Storage room
	up	down	
SAR	10	10	8
CAS	37×37	37×37	37×37
Grid	40×40	40×40	31×61

#### 2.4.3 후처리

후처리과정에서는 과오백터를 판별하여 이를 없애는 에러 제거, 격자 점 재배치, 픽셀(pixel) 단위의 속도 백터를 m/sec 단위로 바꾸는 단위 환산 등을 하였다. 에러를 제거할 때는 통계적으로 자동 에러 처리를 한 후 대화형으로 수동 에러 처리를 하였다. 수동 에러 처리방식은 자동 에러 처리 방식보다 훨씬 주관적인 것으로 유동장의 분위기를 살피면서 과오 백터의 제거 및 보간을 실시하는 방식이다. 불확실성 해석 시에는 수동 에러 처리 방식이 충분히 검토되어야 한다고 판단되며 모든 후처리에 있어서 에러 제거를 원칙적으로 하였다.

PIV에서 에러를 처리하는 알고리즘은 “만약에 얻어진 백터가 과오 백터라면 국소적인 흐름은 연속의 식을 만족시킬 수 없다”라는 발상에서 출발한다. 즉 연속의 방정식을 얼마만큼 만족시키는지 나타내는 평가함수를 의미하여 오류백터를 분별해 내는 알고리즘이다.

### 제3장 결과 및 검토

### 3.1 냉동실의 순간 및 시간평균 속도분포

Photo 2.1 (a) 냉동실내 fan은 일정하게 2150 RPM으로 회전하며 Shroud 유출구에서 냉기의 유동을 측정하였다. Shroud에서 냉기 유출구는 Photo 2.1 (a)에서 보는 것과 같이 (1)~(6)까지이며 (7)은 냉기 return duct를 나타낸다. 또한 냉동실 온도 변화에 따라 냉기의 상태와 반응을 알아보기 위해 냉장고 하부의 냉동 압축기를 작동시켜 냉매를 순환하여 5℃, 15℃, 30℃로 냉동실내부 유동특성을 살펴보았다. PIV계측을 이용한 냉동실의 순간속도 및 시간 평균 속도벡터를 Fig. 3.1~Fig. 3.15와 같이 나타내었다. 그리고 냉동실 내부 3차원 속도를 파악하기 위하여 Fig. 3.1~3.10는 z방향으로 각각 40, 80, 140, 200, 300, 370, 470, 560, 670 mm x-y평면 속도 벡터를 도시하였으며 Fig. 3.11~3.12는 x방향으로 각각 180, 290mm y-z평면 속도 벡터를 나타내었다. Fig. 3.13~3.15는 y방향으로 각각 180, 220, 370mm y-z 평면 속도벡터를 도시하였다. 냉동실에서 대표속도는 0.5m/sec로 하여 속도벡터를 처리하였다. Shroud로부터 유출되는 냉기의 흐름은 냉동실 및 냉장실에서 냉기를 return duct에 흡입하여 다시 fan에 의해 강제 수직 상승, 증발기를 지나 팬 직전의 영역까지 냉기의 유동 방향이 급격하게 바뀌게 된다.

Fig. 3.6~3.10은 200개의 영상에 대한 시간 평균 속도벡터를 나타낸 것이다. z=40mm인 Fig. 3.1 (a),(b),(c)는 5℃, 15℃, 30℃로 온도변화를 주었다.

Photo 2.1 (a)에서 냉기 유출구(2)는 15°기울어짐에 따른 왼쪽 벽면으로 냉기 유출이 진행되며 냉장실 도어에서 충돌하여 일부는 냉기 유출구



(7)의 return duct로 흡입되고 나머지는 와를 형성하며 하부에서 상부로 냉기 유출구(1)의 냉기 흐름과 합쳐짐을 알 수 있다. 또한 온도가 내려감에 따라 냉기의 흐름이 활발히 진행됨을 알 수 있다. Photo 2.1 (a)에서  $z=80\text{mm}$  x-y 단면의 순간 속도를 Fig. 3.2 (a), (b), (c)  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ 로 나타내었으며 냉기가 강하게 유출됨을 알 수 있다. Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구(2)  $15^{\circ}$ 기울어짐에 따라  $z=80\text{mm}$  단면에 영향을 준다. 이 유동장의 전체적인 흐름을 볼 때 냉기 유출구(1), (2)에서 냉기 흐름이 냉동실 문 쪽으로 부딪쳐 상 하부로 나뉘짐을 알 수 있다. 하부의 냉기는 와를 형성하며 전체적인 냉기 순환 Cycle를 형성한다.

Photo 2.1 (a)에서 냉기 유출구(1), (2)가 존재하는  $z=140\text{mm}$ 인 영역 Fig. 3.3 (a), (b), (c) x-y단면에서의 냉기흐름은 shroud에서 냉기 유출구(2)가  $15^{\circ}$ 기울어져 냉기 유출구(2)에서는 냉기 흐름이 약하며 냉기 유출구(1)의 냉기는 강하게 유출됨을 알 수 있다. 실험 영역 하부에서 재 순환됨은 같으나 상부 냉기 유출구 (2)흐름의 약화로 하부의 재 순환된 냉기가 상부까지 올라감을 알 수 있다.

Photo 2.1 (a)에서 냉기 유출구(2)만 존재하는  $z=200\text{mm}$  x-y단면 냉기 속도는 Fig. 3.4에서 나타내며 냉기 유출구(2)로부터 냉기가 약하게 유출되는 구역이다. 냉기 유출구(1), (3) 영향을 받아 강한 냉기가 냉동실 문 쪽으로 진행됨을 알 수 있다. 냉동실 문 쪽으로 부딪힌 냉기가 상부 하부로 나뉘어져 상부에서 재 순환된 냉기 흐름이 강함을 알 수 있다. 이 결과 냉기 유출구(2)에서는 냉기의 흐름이 약함을 증명하고 슬롯이  $15^{\circ}$ 기울어져 왼쪽 벽면으로 냉기가 강하게 흘러가고 있다.

Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구(5)만 존재하는  $z=300\text{mm}$ 인 x-y단면에서

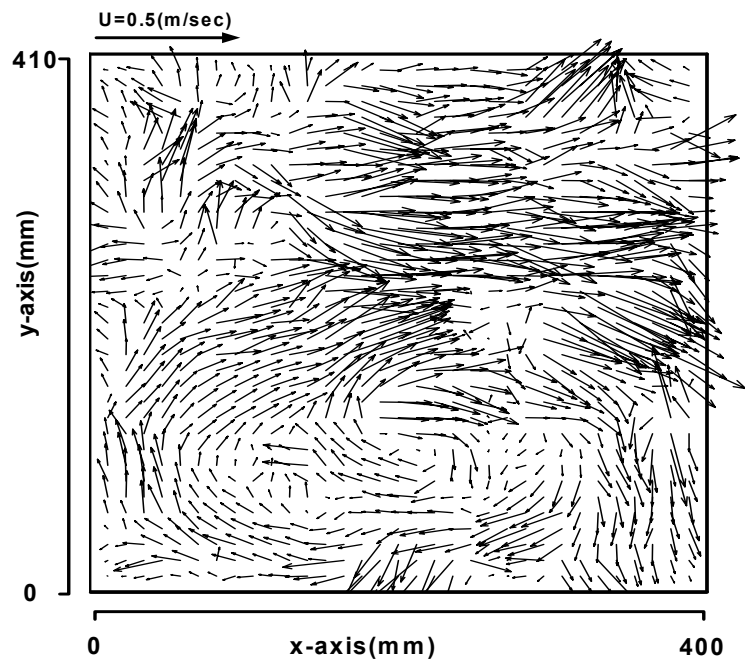
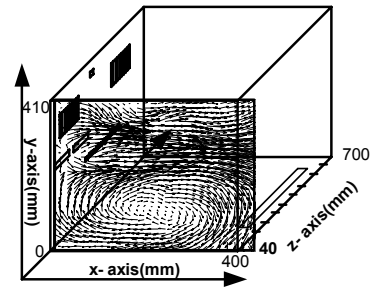
속도는 Fig. 3.5 (a), (b), (c)에서 나타낸다. 이 단면에서의 유동 특성은 상부 유출구(2), (6)의 큰 영향을 받지 않기 때문에 냉기 유출구(5)에서 냉기 최대 순간속도 0.7m/sec, 평균 속도 0.4m/sec 냉기가 냉동실 도어 벽에 부딪혀 상부와 하부로 나뉘게 되며 크게 상부, 하부에 와를 형성하여 재 순환 영역을 나타낸다. 이 영역에서 온도에 따른 평균 속도 차는 5℃ 0.4m/sec, 15℃ 0.35m/sec, 30℃ 0.3m/sec 정도로 온도가 낮을 수록 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

Photo 2.1 (a)에서의 냉기 유출구(4), (5)  $z=370\text{mm}$  x-y단면 유동특성은 냉기 유출구(5)에서 냉기가 강하게 냉동실의 도어 벽으로 흐르고 있으며 냉기 유출구(4)에서 아래방향으로 흘러 유출구(5)에서 유출된 냉기와 합쳐짐을 알 수 있다. 이 현상은 냉기 유출구 (4)의 상부에서 나오는 냉기 속도보다 냉기 유출구(5)의 냉동실 도어 쪽에서 상/하부로 갈라지는 상부 재 순환냉기에 의해 냉기 유출구(4) 냉기가 x축과 수평방향이 아닌 아래 흐름으로 방향이 바뀔 수 있다.

Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구 (5) 존재하는 영역  $z=470\text{mm}$  x-y단면에서 유동 특성은 주위 흐름에 따라 냉기의 영역에서 영향을 준다. 이때 냉기는 온도에 변화 없이 평균속도 0.2m/sec 정도로 나타났으며 최대 속도는 5℃일때 0.4m/sec임을 알 수 있었다.

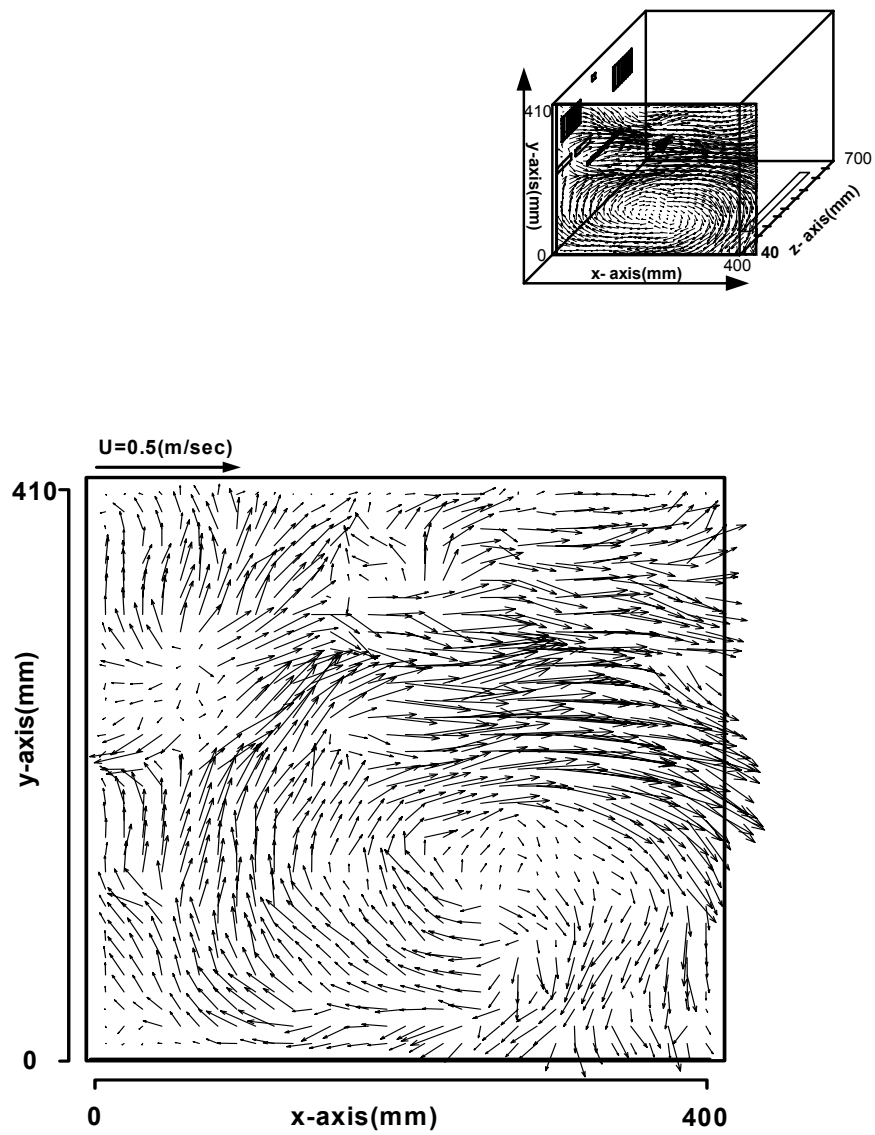
Photo 2.1 (a)에서 냉기 유출구(6)  $z=560\text{mm}$ 인 x-y 단면에서의 냉기 유동특성은 냉기 유출구(6) 존재하지만 15°오른쪽으로 기울어져 있으므로 상부에서 냉기의 흐름은 약하게 되고 주위의 영향을 많이 받게 된다. 냉기 유출구가 존재하지 않은 구역  $z=670\text{mm}$ 인 x-y단면인 영역에서는 냉기 유출구가 없는 단면이지만 냉기 유출구(6)이 15°오른쪽 기울어져 그 영향에 의한 냉기의 흐름이 강함을 알 수 있다. Fig. 3.11은 y-z단면 x축으로 180mm이며 냉기 유동 특성은 그림에서 지

시하는 a, d구간에서 벡터가 15°방향으로 양쪽으로 흘러감을 보여주고 있다. Fig. 3.12는 x 축으로 290mm 단면에서 측정하며 속도는 더욱 커짐을 알 수 있다. Fig. 3.11 180mm 지점에서는 와가 형성되고 있고 Fig. 3.12 290mm 단면에서는 완전한 와의 형성을 이룸을 볼 수 있다. 이것은 Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구(2) 위치임을 알 수 있는데 Fig. 3.5 (a), (b), (c)의 단면을 보면 냉기의 유출이 흐름을 알 수 있고 이 유동의 흐름이 시계방향임을 알 수 있다. 시계방향으로 냉기가 흐르다가 냉기의 흐름이 약한 b 구간에서 와가 발생함을 알 수 있다. c구간에서 냉기 흐름은 아래쪽을 향하고 있다. Fig. 3.12 e부분은 return duct로 냉기가 재 흡입되는 영역임을 알 수 있다. Fig. 3.13 (a)는 Photo 2.1의 냉기 유출구(5)에서 나오는 냉기의 유동 특성을 나타낸 것이다. 이 단면에서는 시계 방향으로 냉기가 흘러가는 것을 볼 수 있다. Fig. 3.14는 Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구(1), (3)에서 유출되는 냉기의 유동 특성을 나타낸 것이다. 이 영역에서는 냉동실 도어 벽에 부딪혀 좌우로 냉기의 흐름이 분산되는 것을 알 수 있다. Fig. 3.15는 Photo 2.1 (a)의 냉기 유출구(2), (6)의 위치에서 냉기 유출 특성을 알 수 있다. 냉기 유출구(2), (6)의 양쪽 벽을 타고 와를 형성하며 상부 안쪽으로 모여 빠른 속도의 유동을 보여주고 있다. 이 영역에서 알 수 있듯이 Fig. 3.11, 3.12에서 지시하는 c영역 하부로의 냉기흐름을 해석할 수 있다. 다른 한편으로는 PIV실험에서 다른 축들의 단면을 해석하면 한 축의 단면을 이해하는데 도움이 된다.



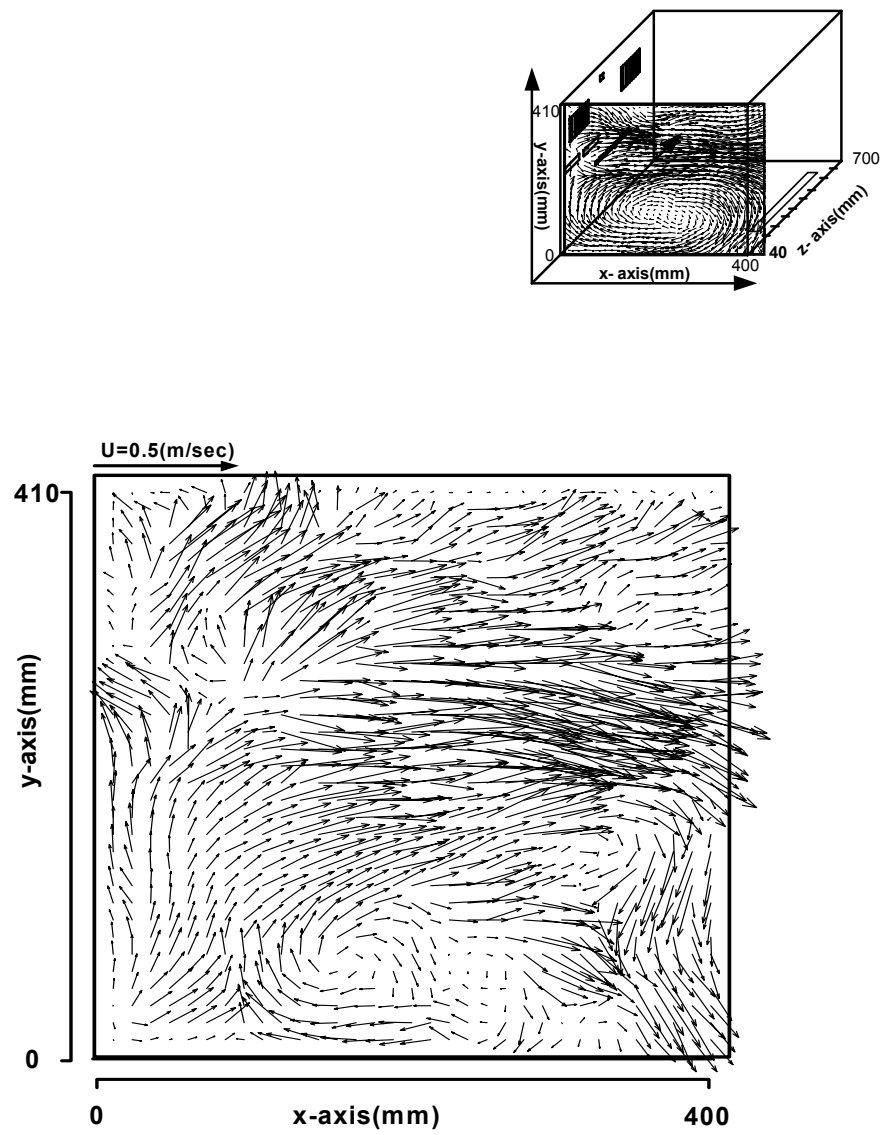
(a) Instantaneous velocity vectors (40mm, 5°C)

Fig. 3.1 Freezer room



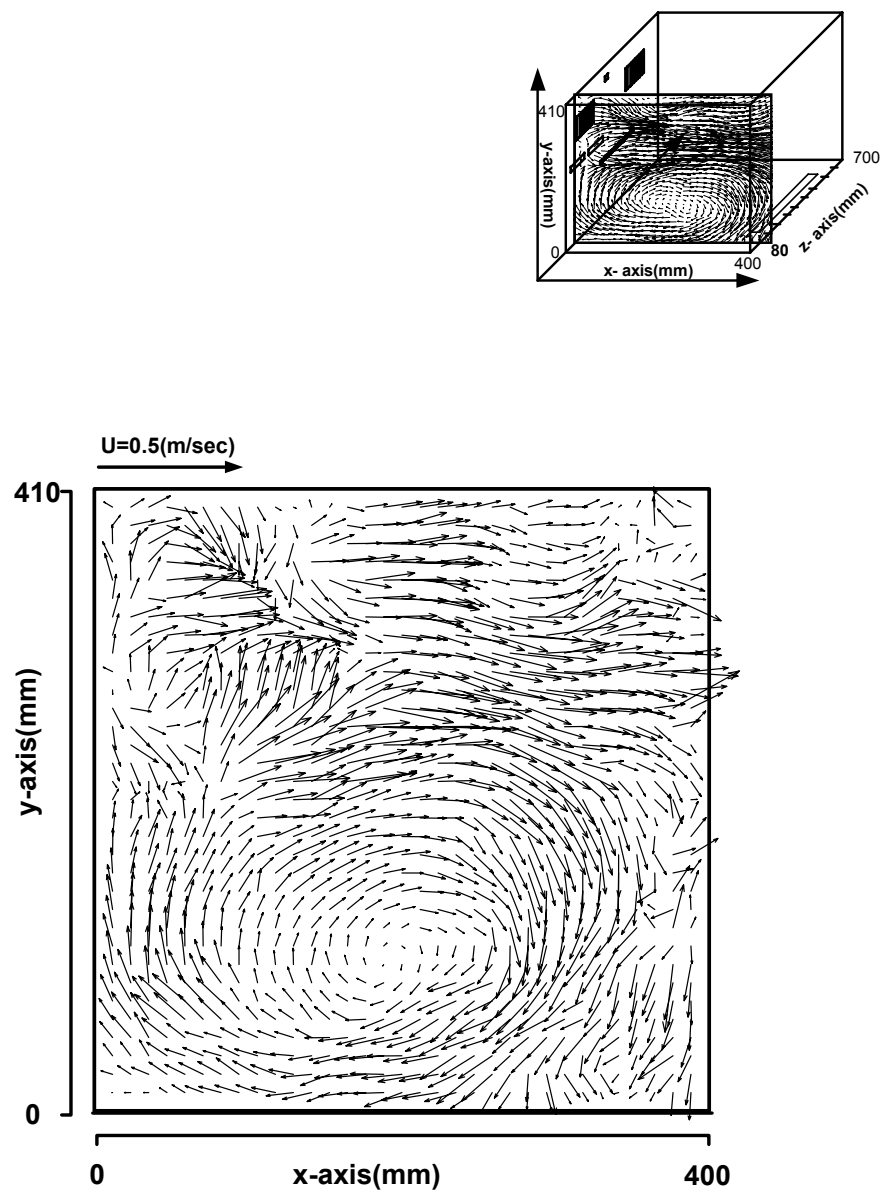
(b) Instantaneous velocity vectors (40mm, 15°C)

Fig. 3.1 Freezer room



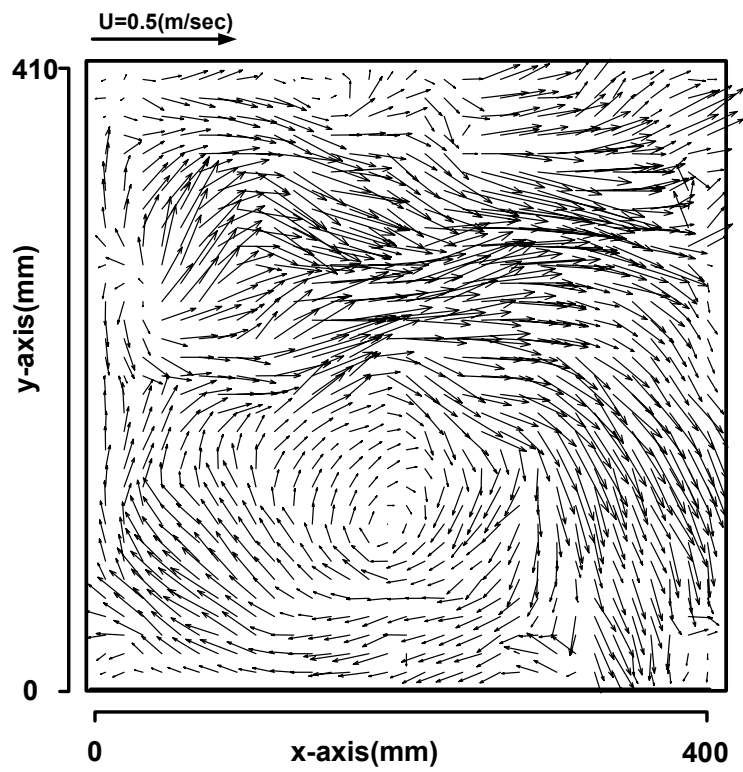
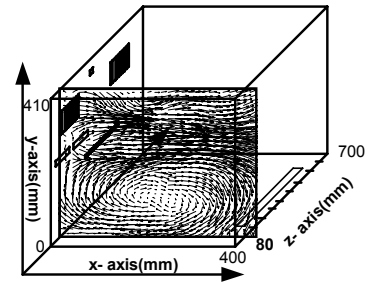
(c) Instantaneous velocity vectors (40mm, 30°C)

Fig. 3.1 Freezer room



(a) Instantaneous velocity vectors (80mm, 5°C)

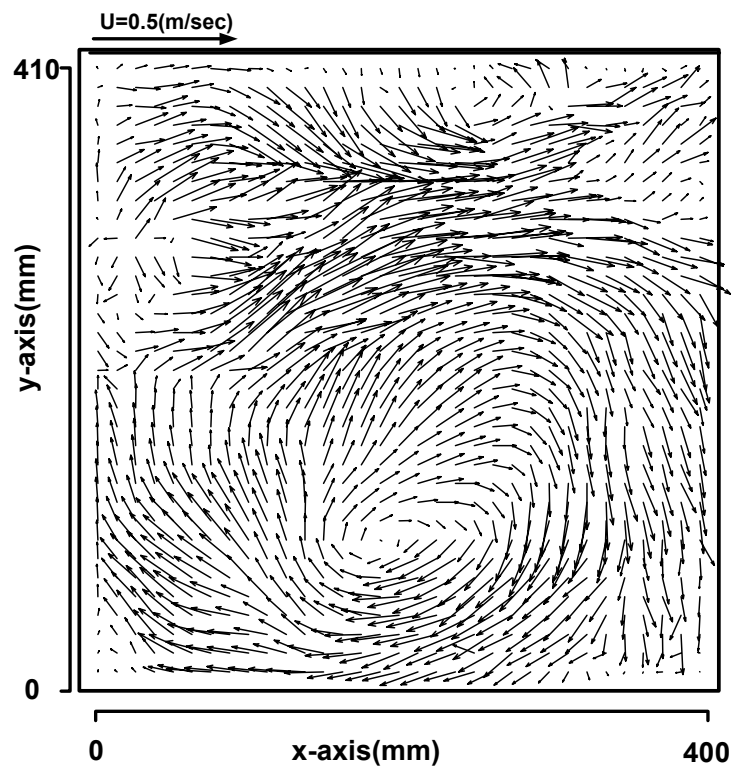
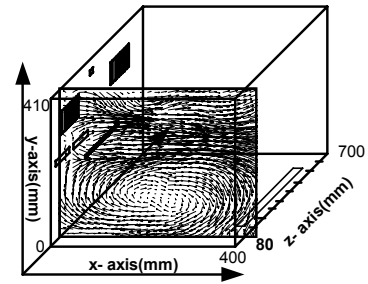
Fig. 3.2 Freezer room



(b) Instantaneous velocity vectors (80mm, 15°C)

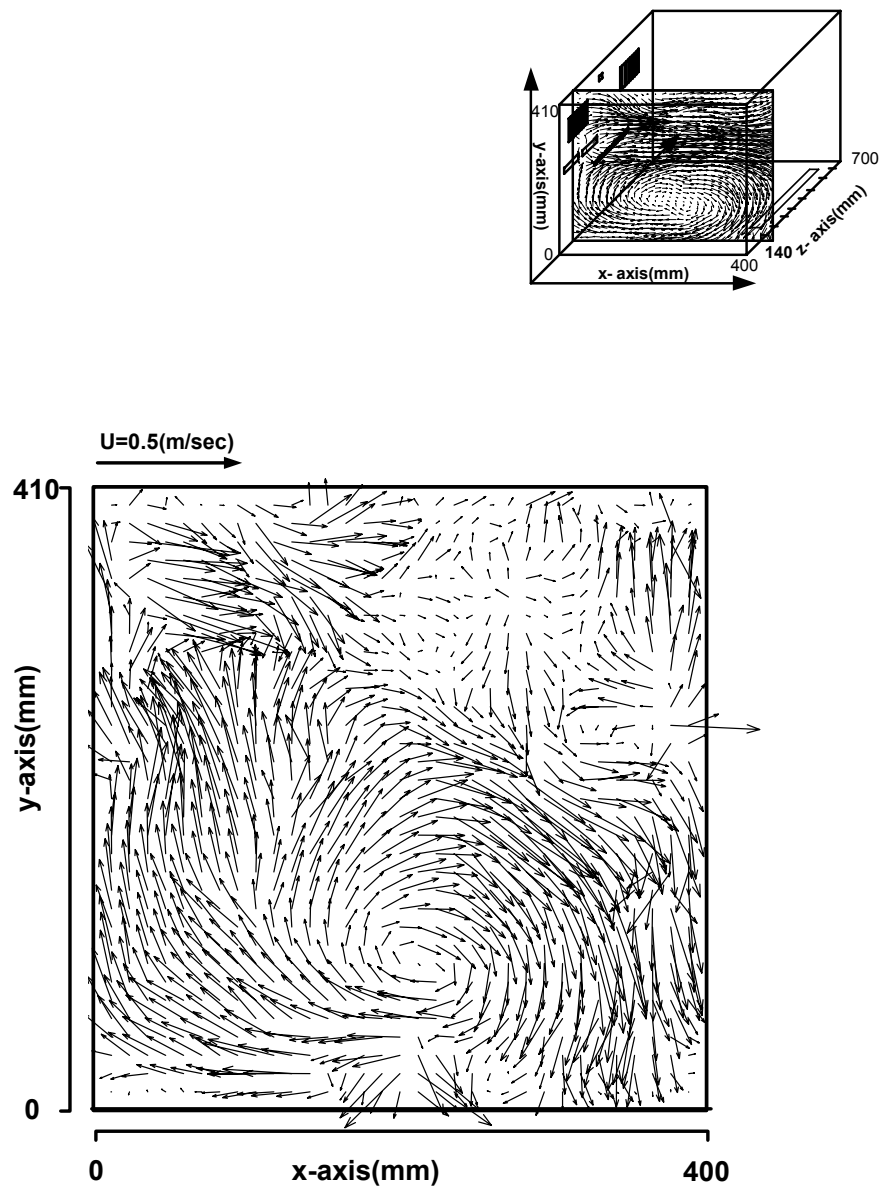
Fig. 3.2 Freezer room





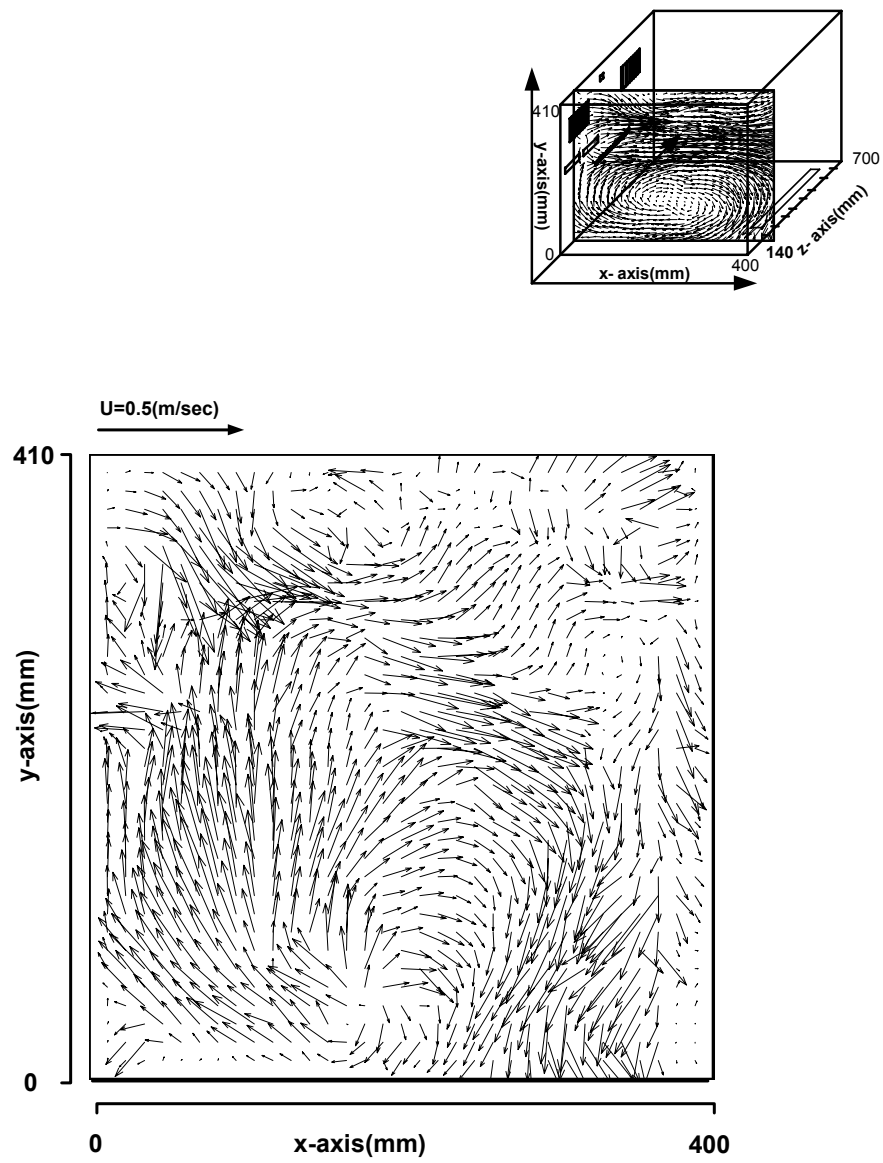
(c) Instantaneous velocity vectors (80mm, 30°C)

Fig. 3.2 Freezer room



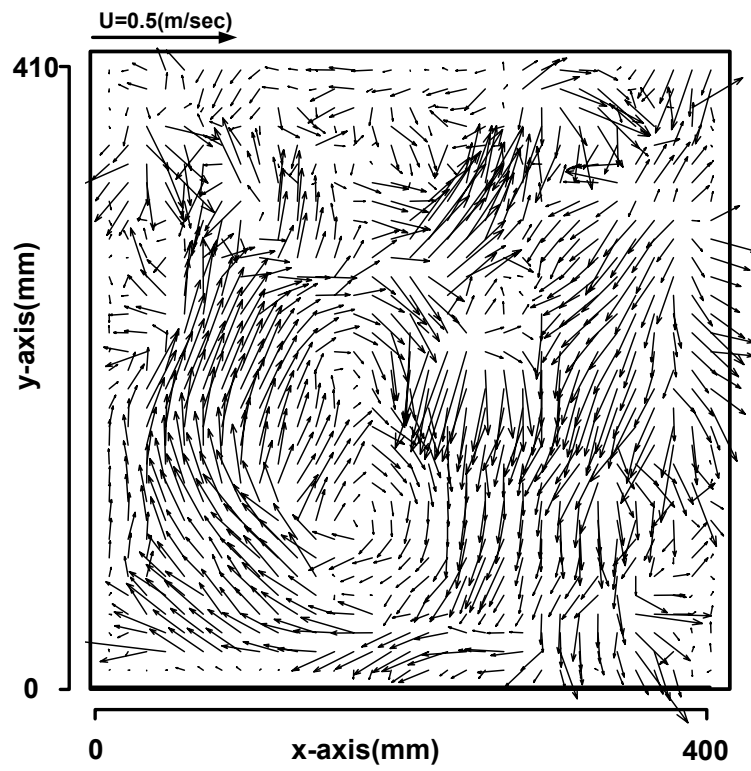
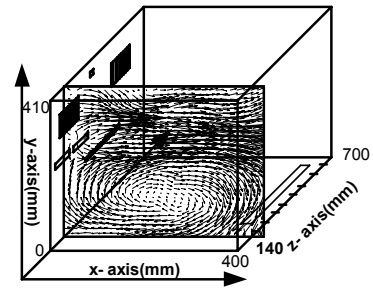
(a) Instantaneous velocity vectors (140mm, 5°C)

Fig. 3.3 Freezer room



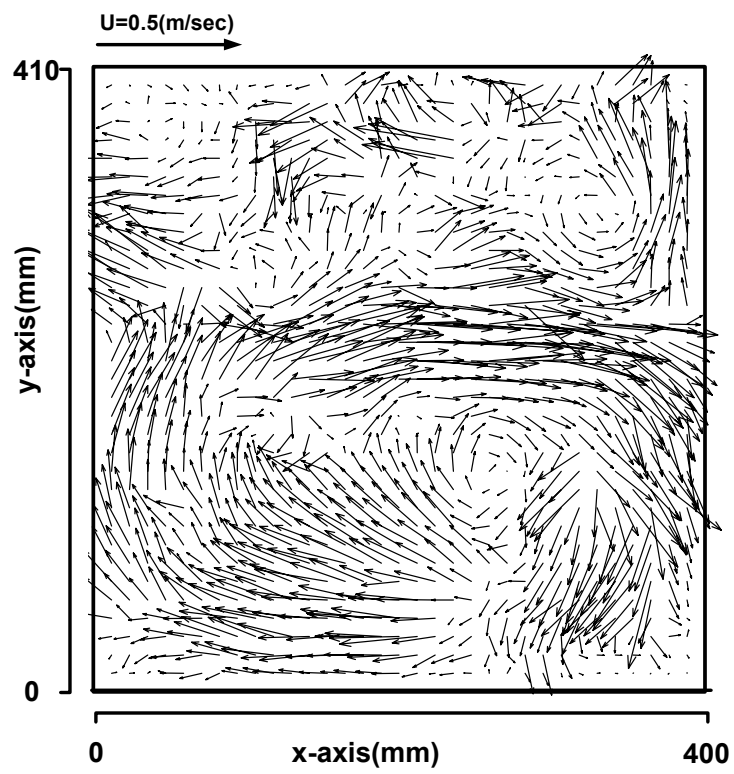
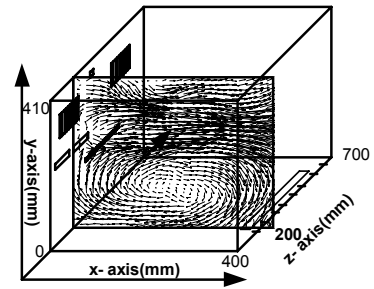
(b) Instantaneous velocity vectors (140mm, 15°C)

Fig. 3.3 Freezer room



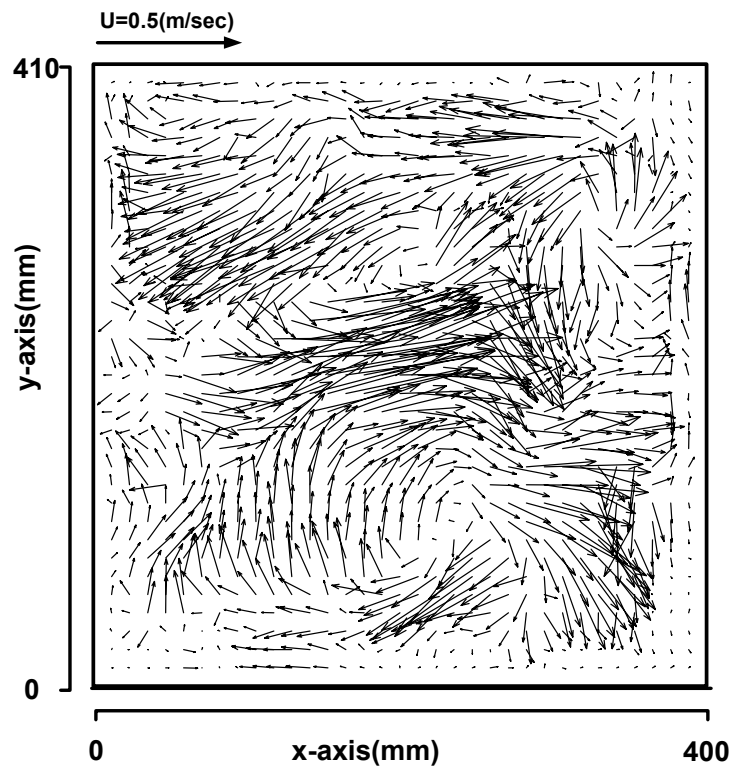
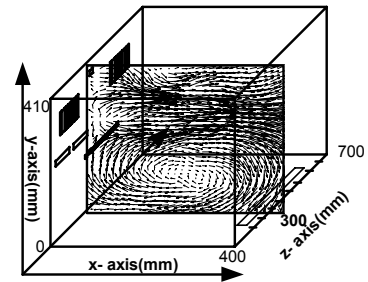
(c) Instantaneous velocity vectors (140mm, 30°C)

Fig. 3.3 Freezer room



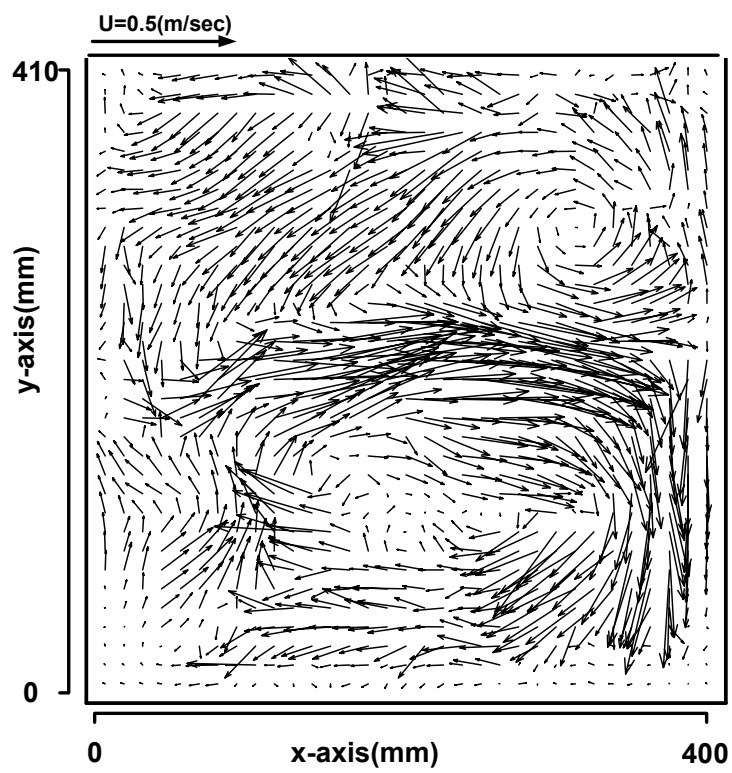
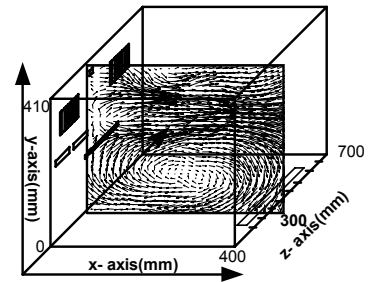
Instantaneous velocity vectors (200mm, 5°C)

Fig. 3.4 Freezer room



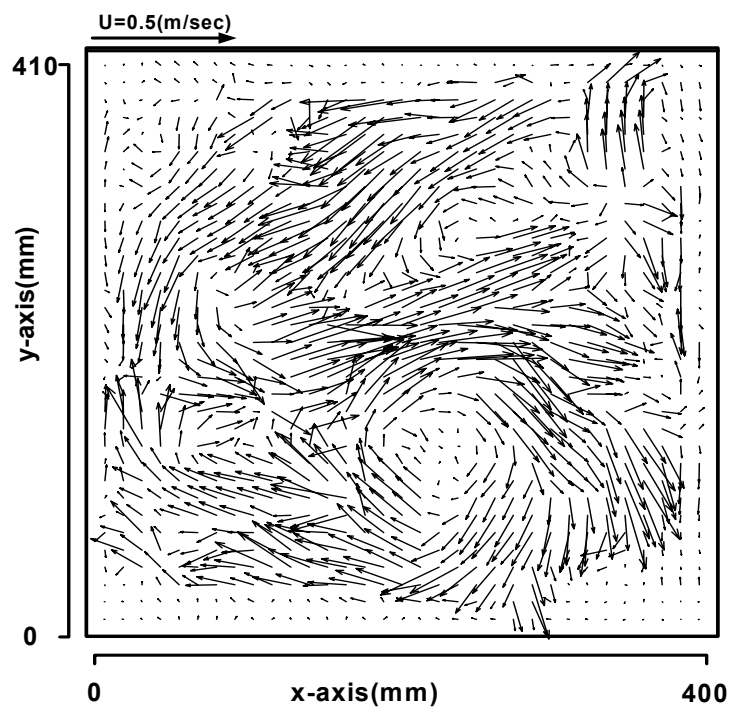
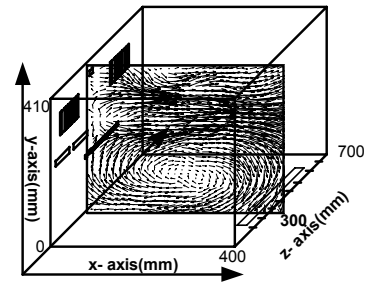
(a) Instantaneous velocity vectors (300mm, 5°C)

Fig. 3.5 Freezer room



(b) Instantaneous velocity vectors (300mm, 15°C)

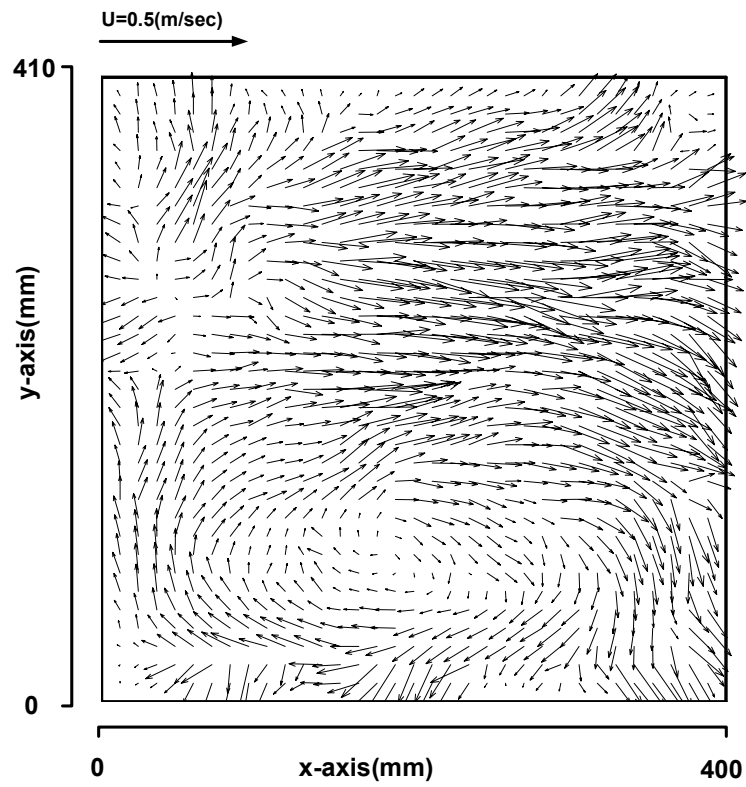
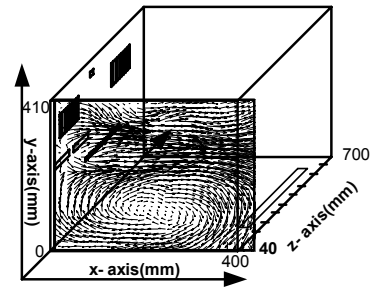
Fig. 3.5 Freezer room



(c) Instantaneous velocity vectors (300mm, 30°C)

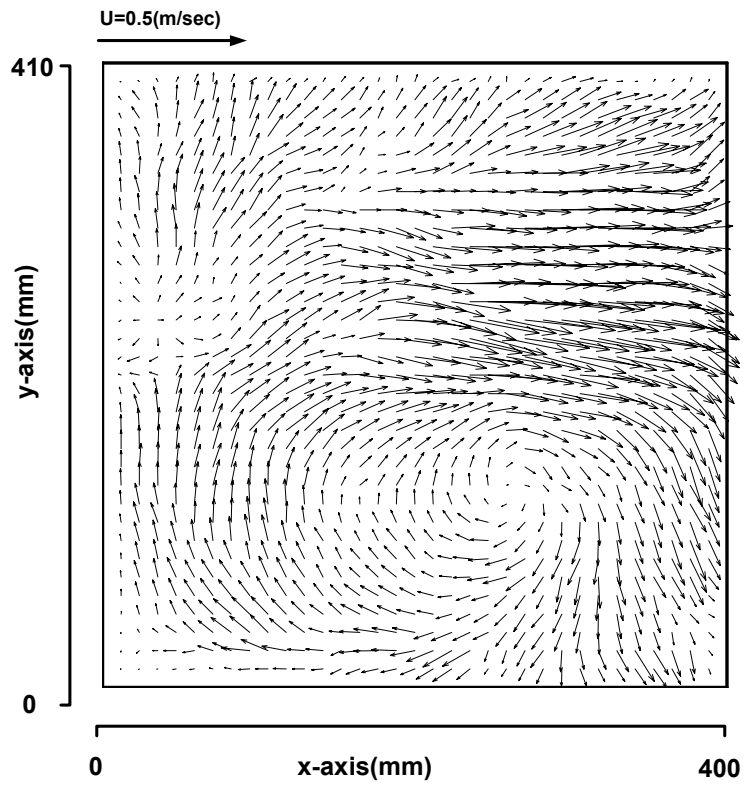
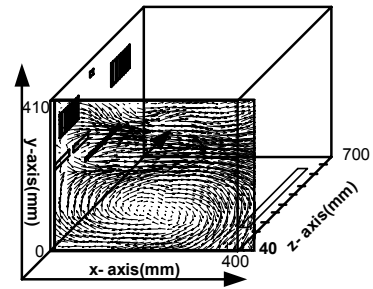
Fig. 3.5 Freezer room





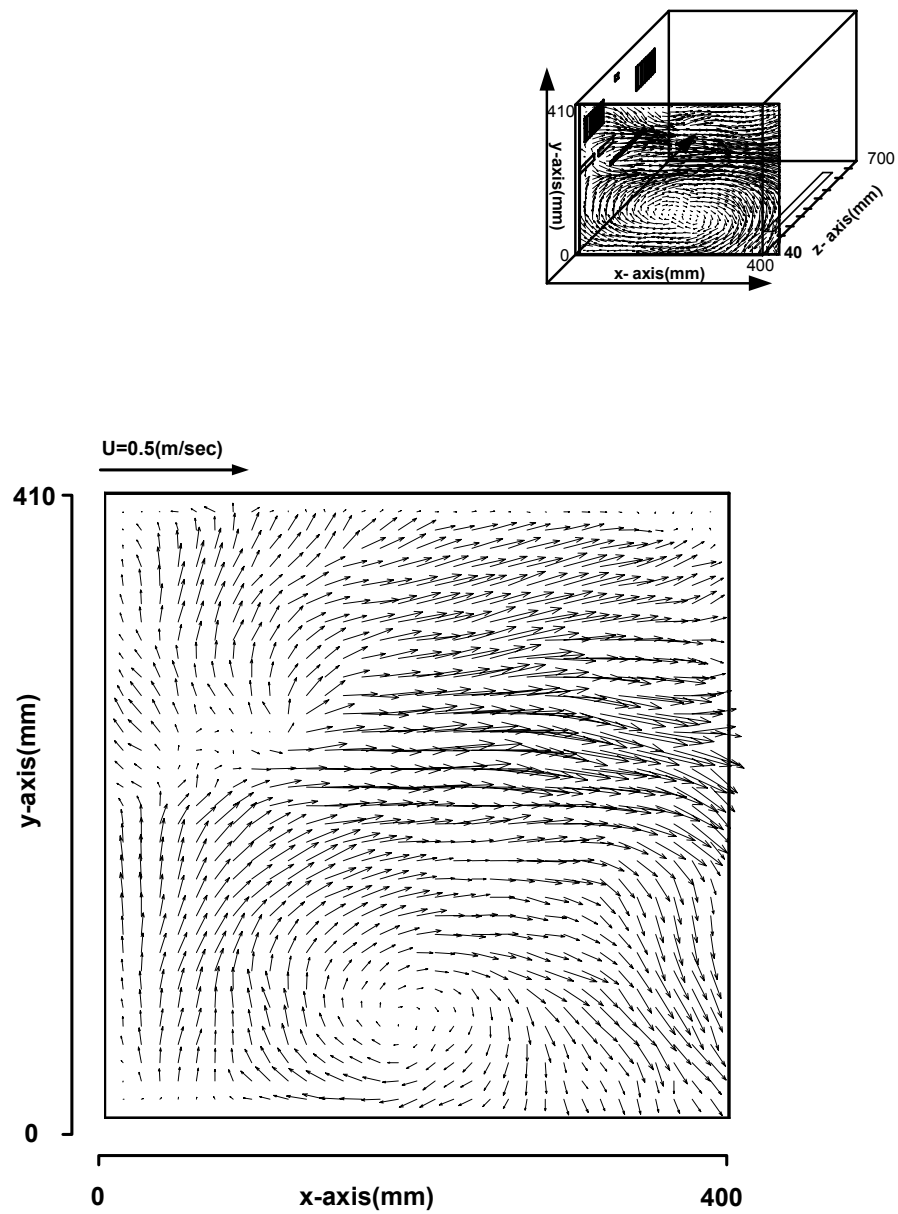
(a) Time-mean velocity vectors (40mm, 5°C)

Fig. 3.6 Freezer room



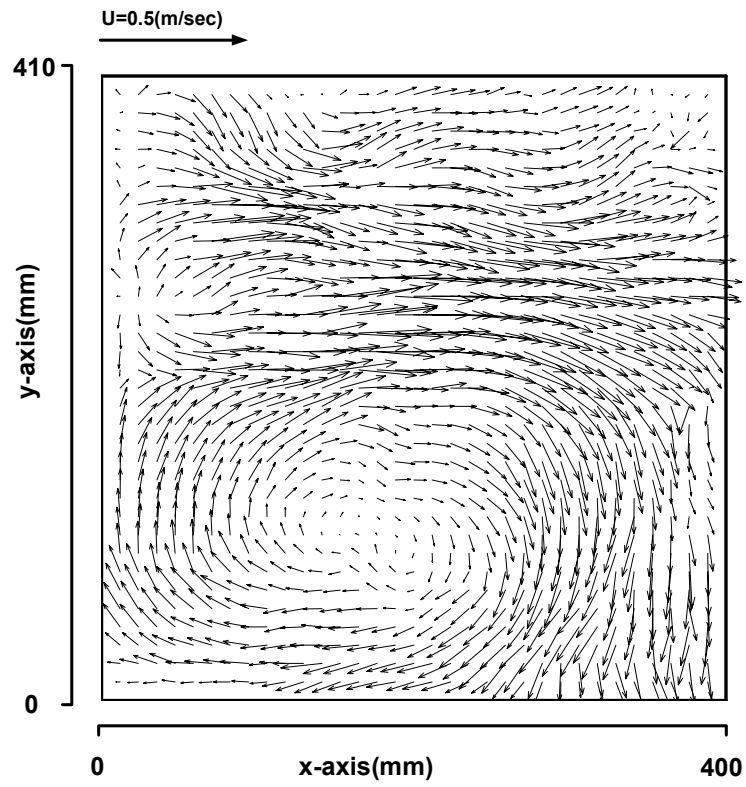
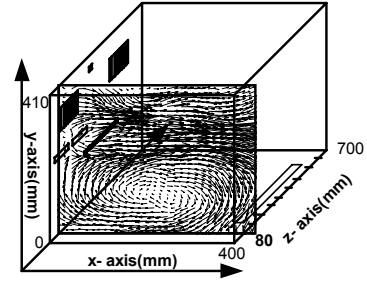
(b) Time-mean velocity vectors (40mm, 15°C)

Fig. 3.6 Freezer room



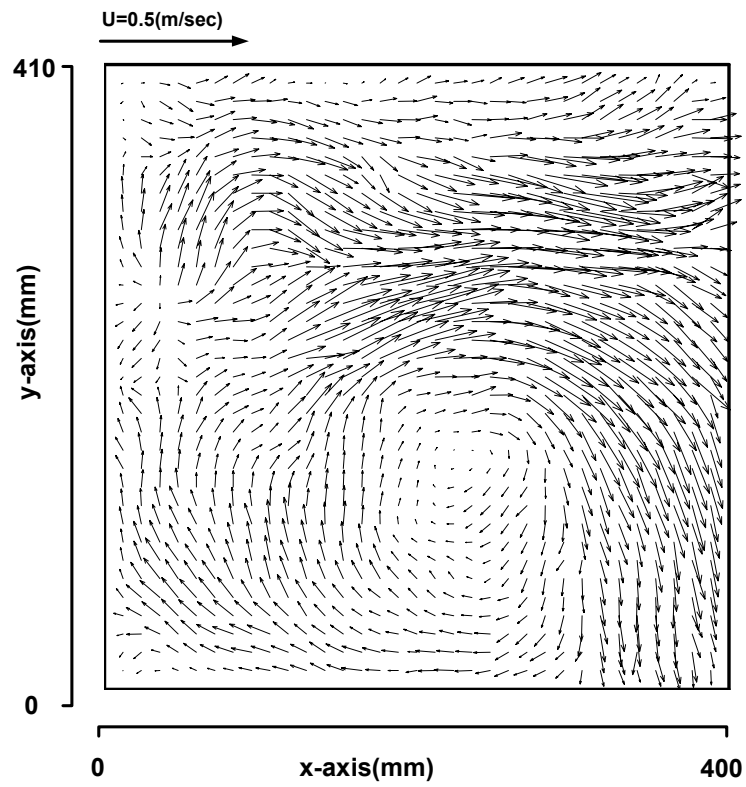
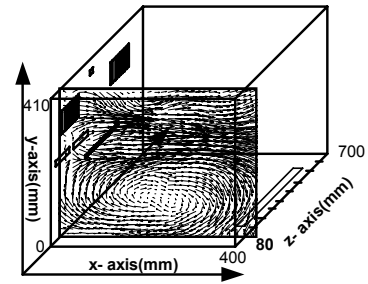
(c) Time-mean velocity vectors (40mm, 30°C)

Fig. 3.6 Freezer room



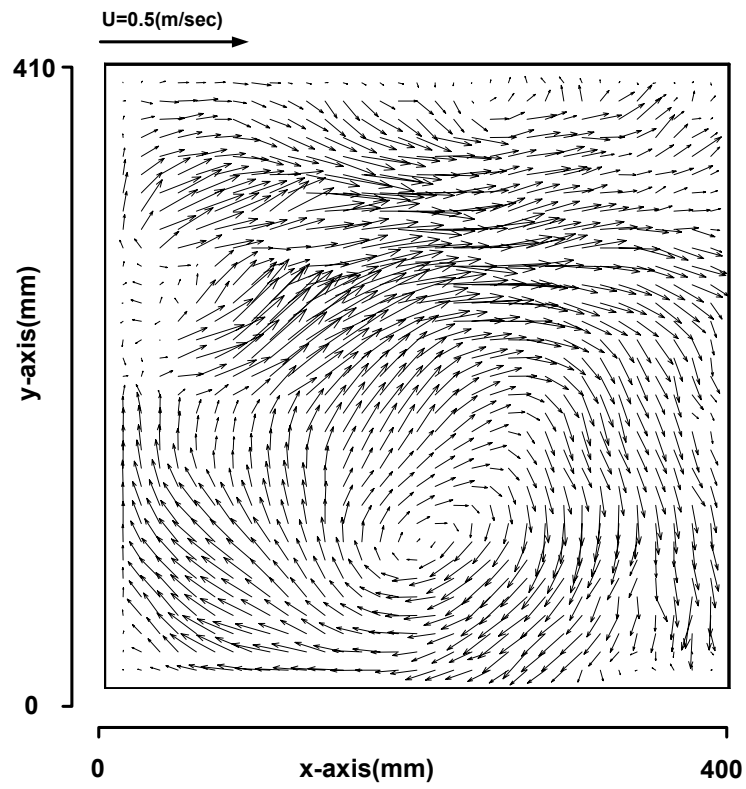
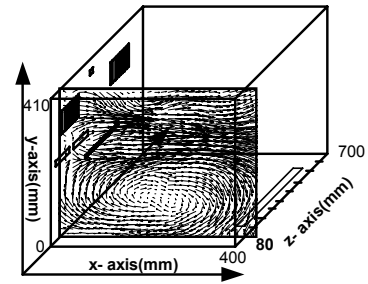
(a) Time-mean velocity vectors (80mm, 5°C)

Fig. 3.7 Freezer room



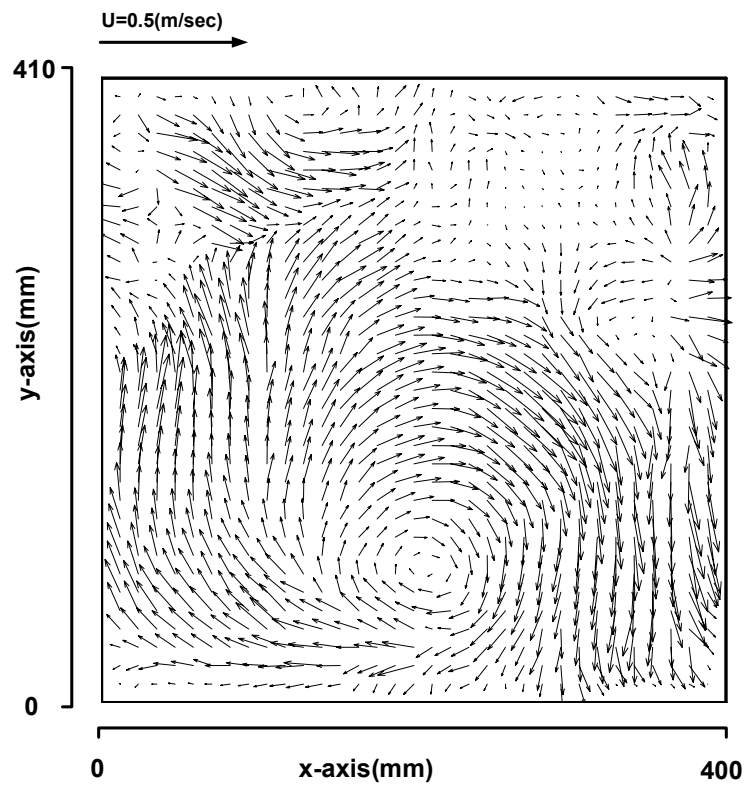
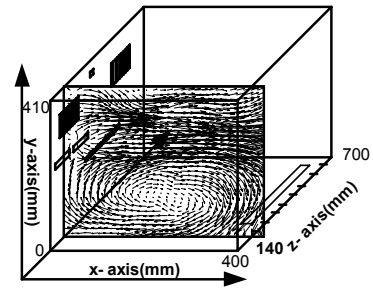
(b) Time-mean velocity vectors (80mm, 15°C)

Fig. 3.7 Freezer room



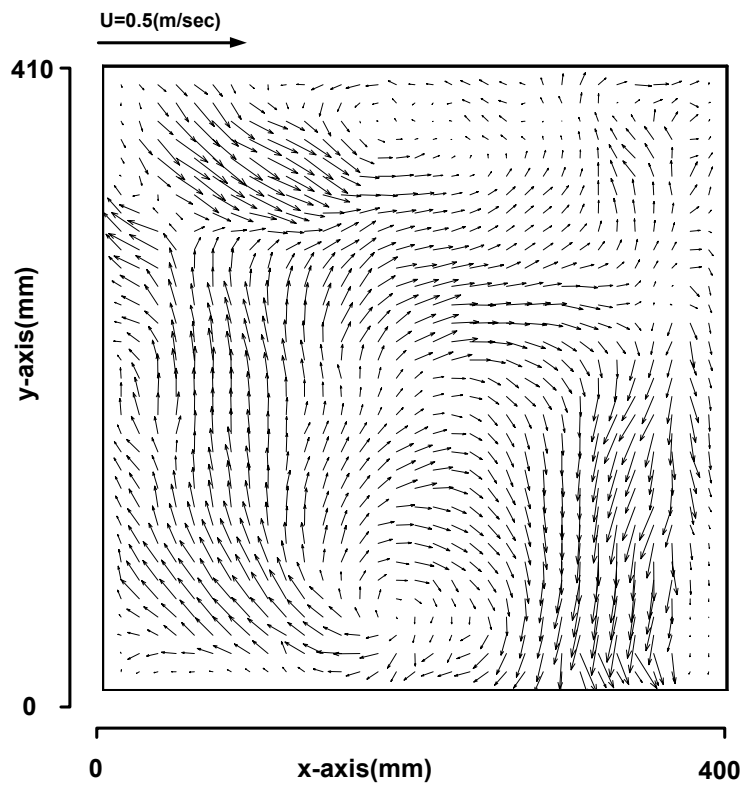
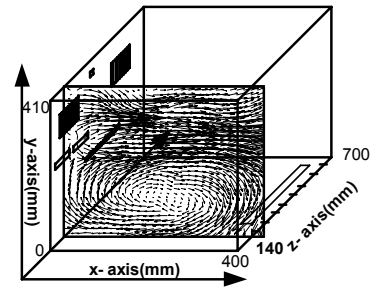
(c) Time-mean velocity vectors (80mm, 30°C)

Fig. 3.7 Freezer room



(a) Time-mean velocity vectors (140mm, 5°C)

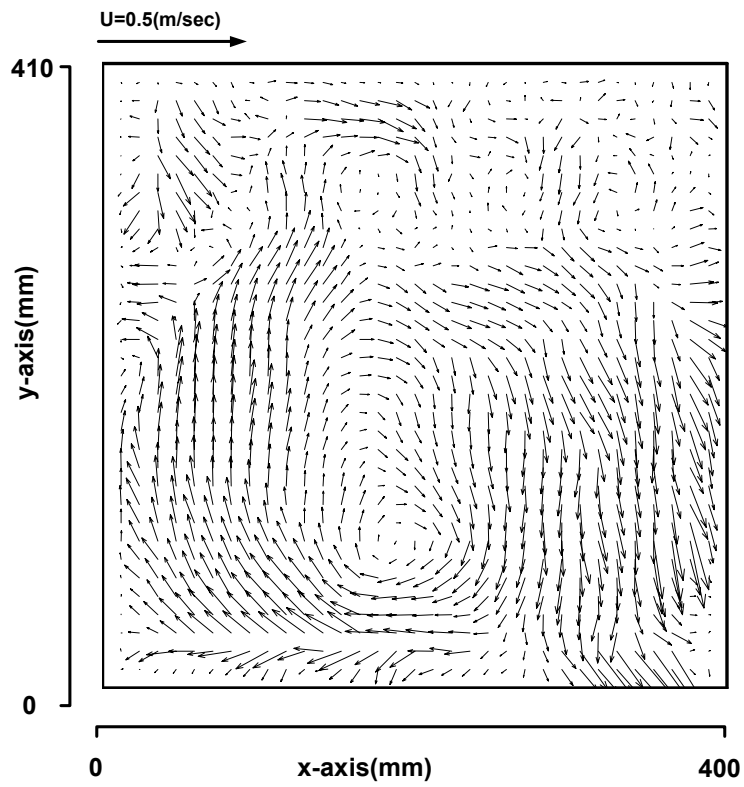
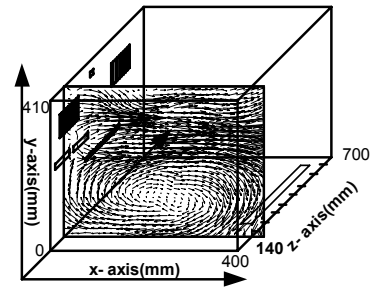
Fig. 3.8 Freezer room



(b) Time-mean velocity vectors (140mm, 15°C)

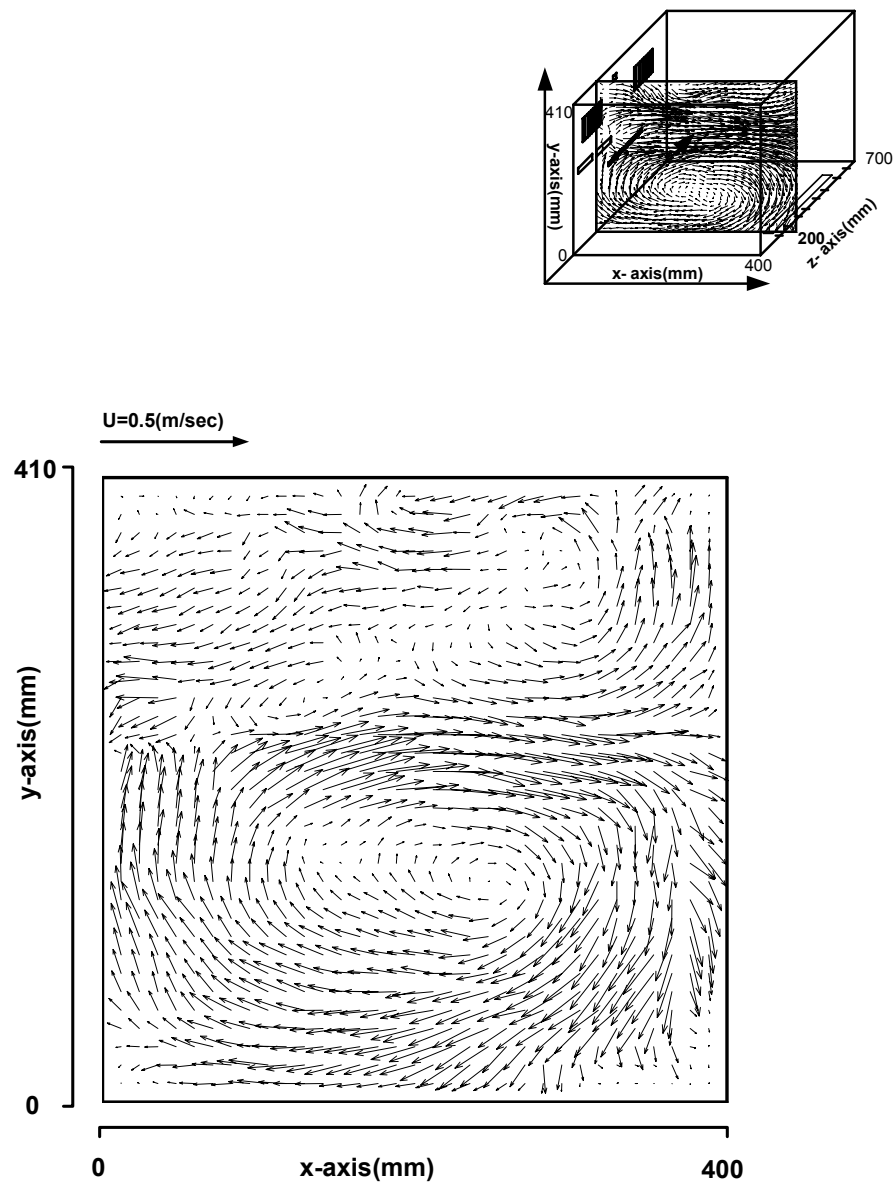
Fig. 3.8 Freezer room





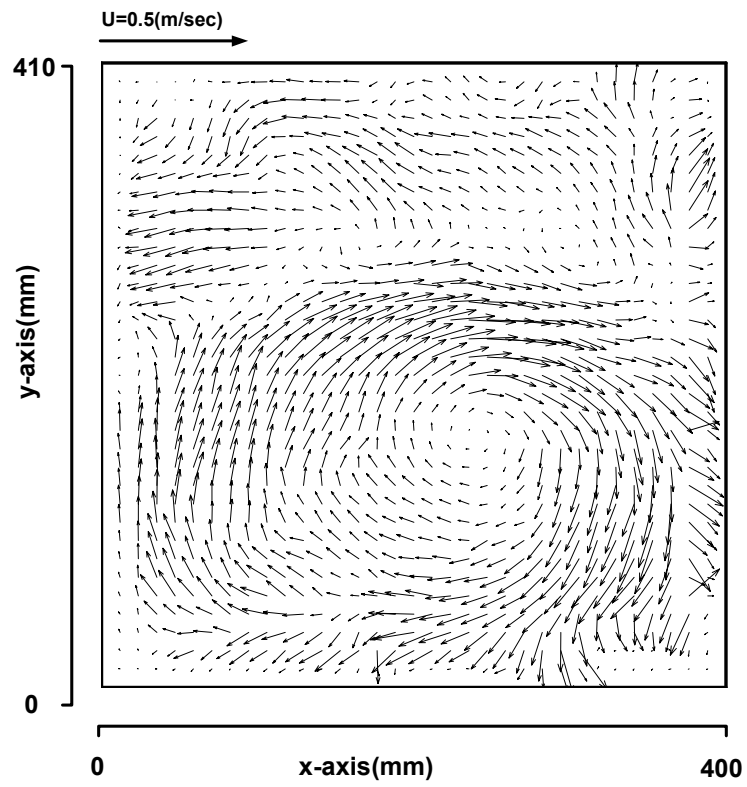
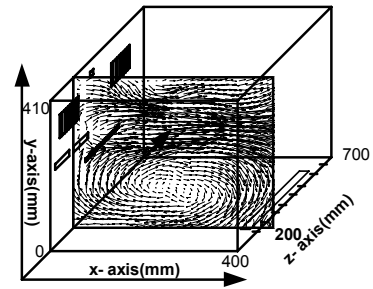
(c) Time-mean velocity vectors (140mm, 30°C)

Fig. 3.8 Freezer room



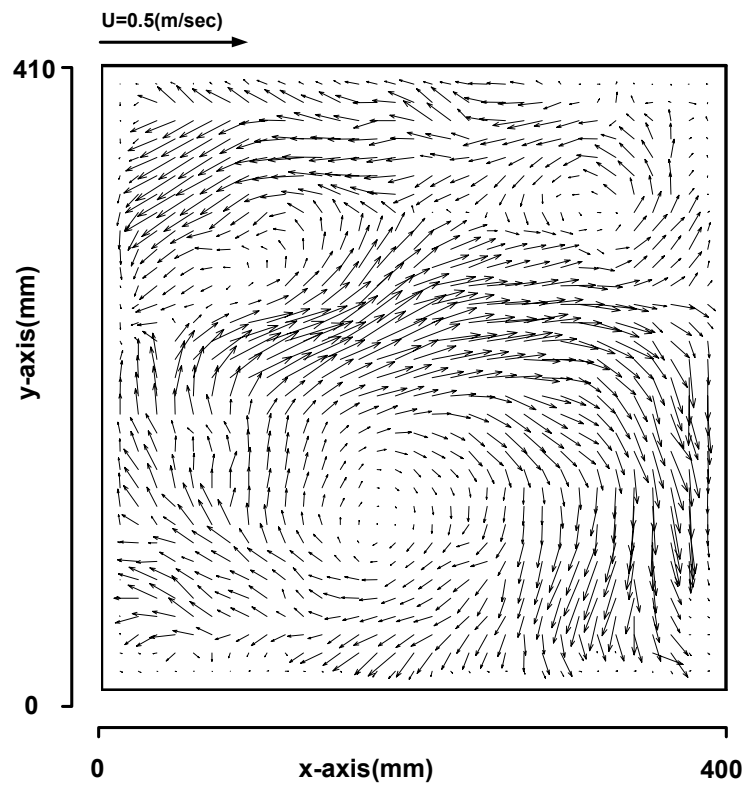
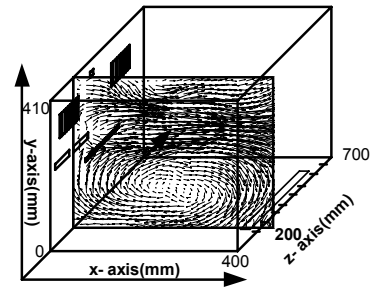
(a) Time-mean velocity vectors (200mm, 5°C)

Fig. 3.9 Freezer room



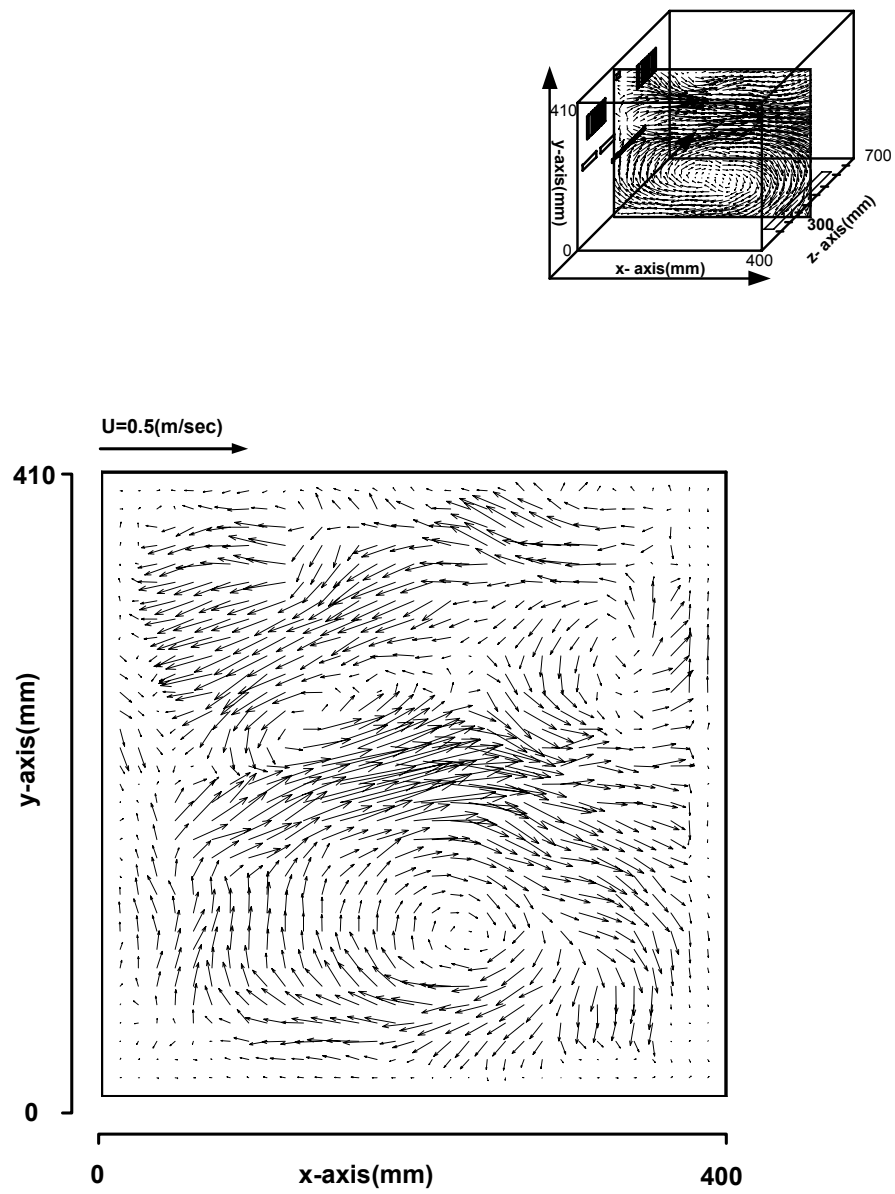
(b) Time-mean velocity vectors (200mm, 15°C)

Fig. 3.9 Freezer room



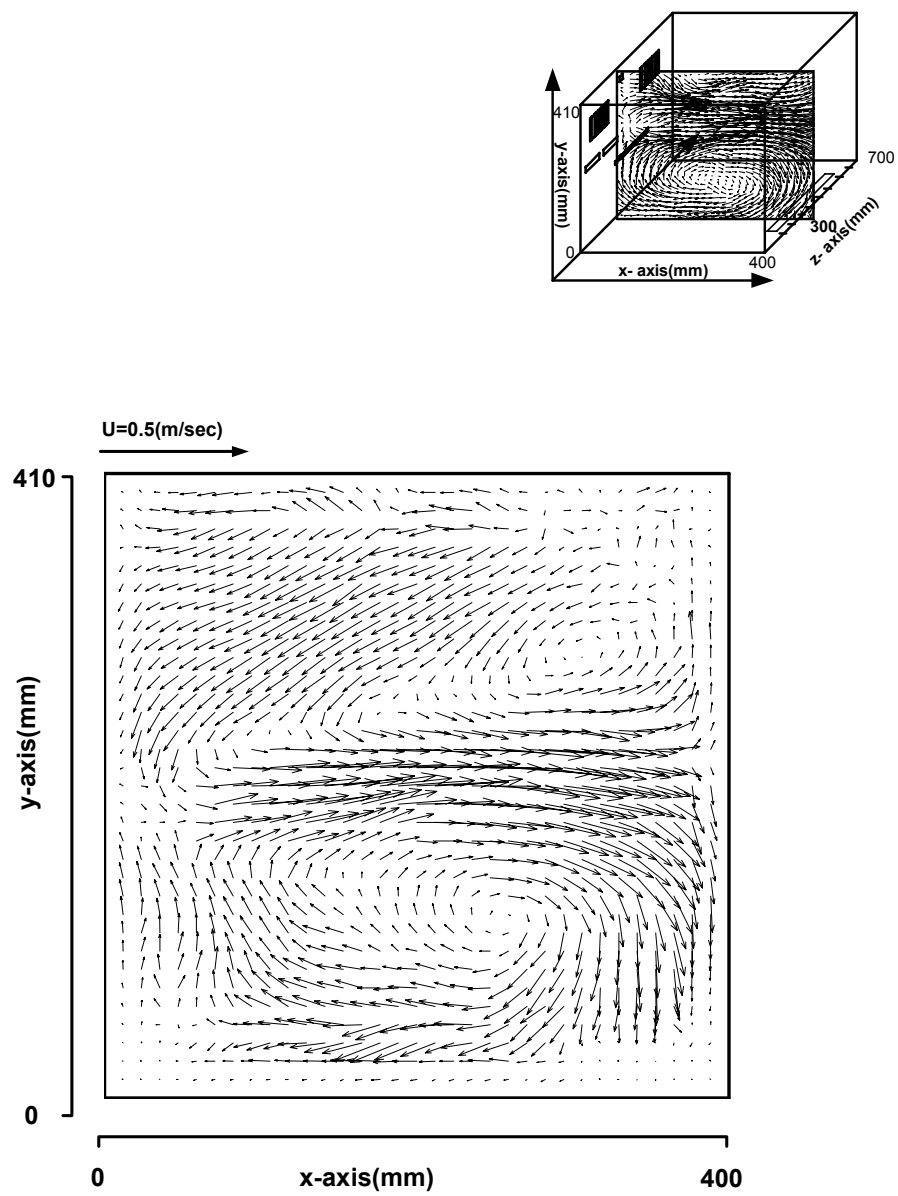
(c) Time-mean velocity vectors (200mm, 30 °C)

Fig. 3.9 Freezer room



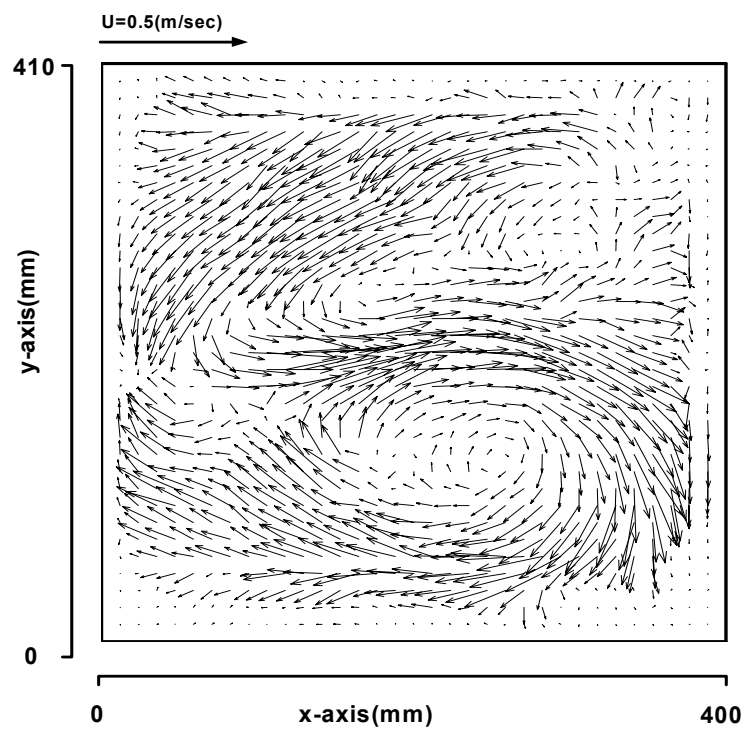
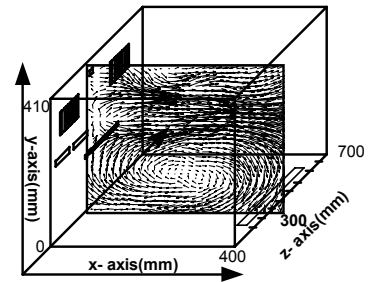
(a) Time-mean velocity vectors (300mm, 5°C)

Fig. 3.10 Freezer room



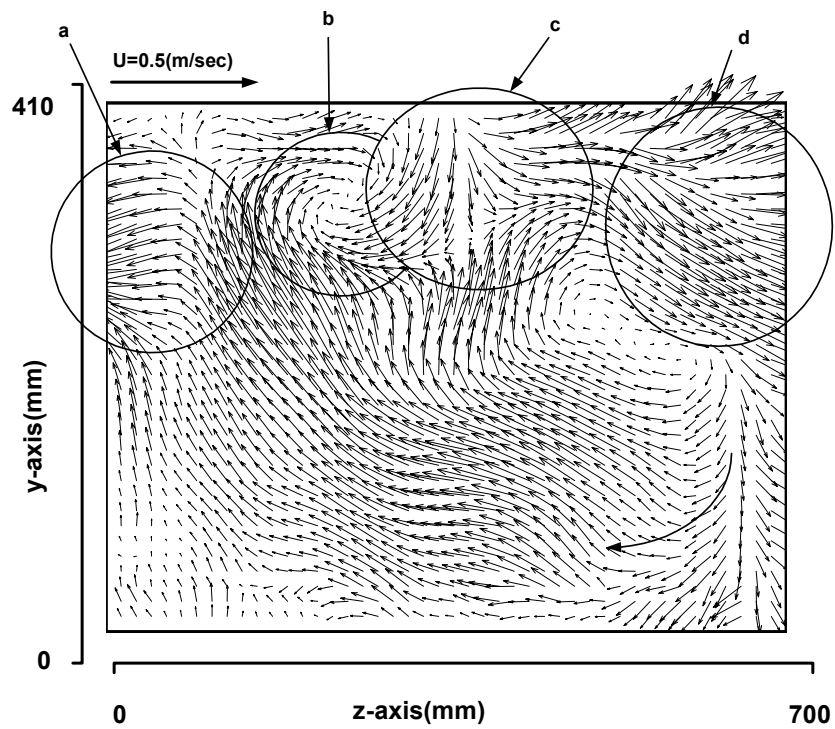
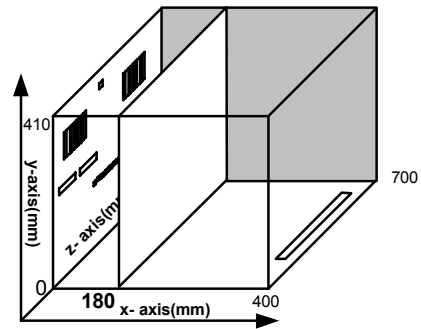
(b) Time-mean velocity vectors (300mm, 15°C)

Fig. 3.10 Freezer room



(c) Time-mean velocity vectors (300mm, 30°C)

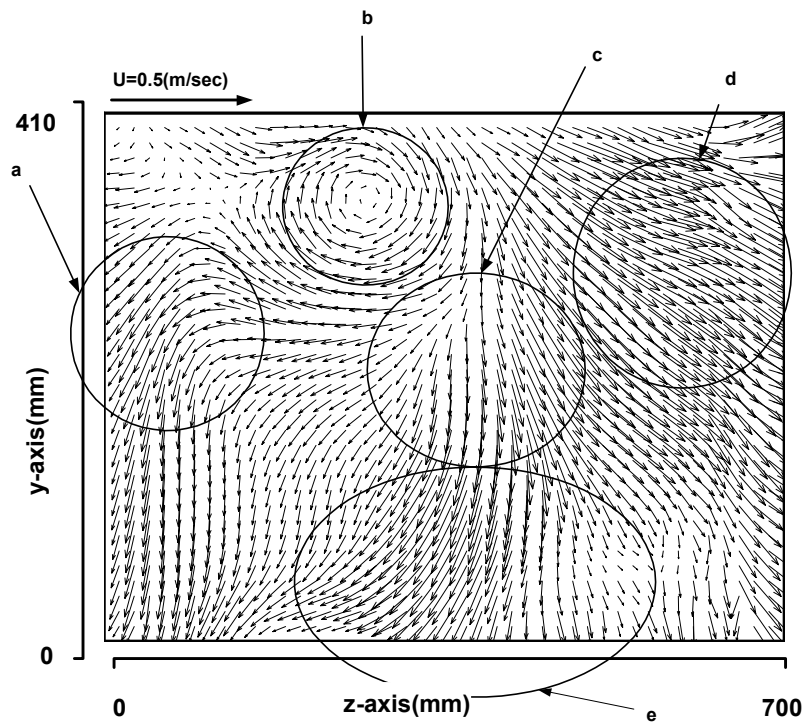
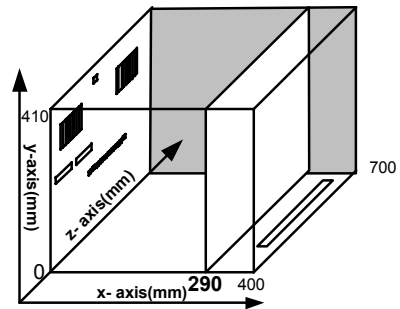
Fig. 3.10 Freezer room



Time-mean velocity vectors (180mm)

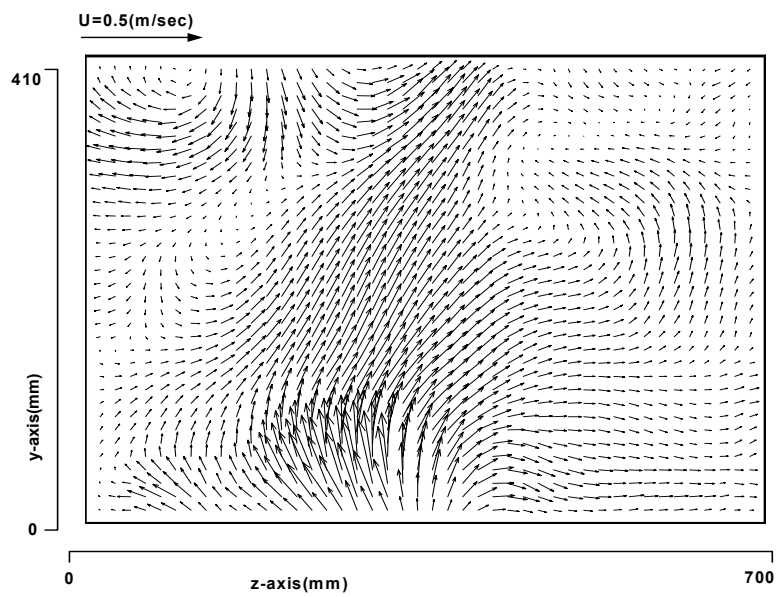
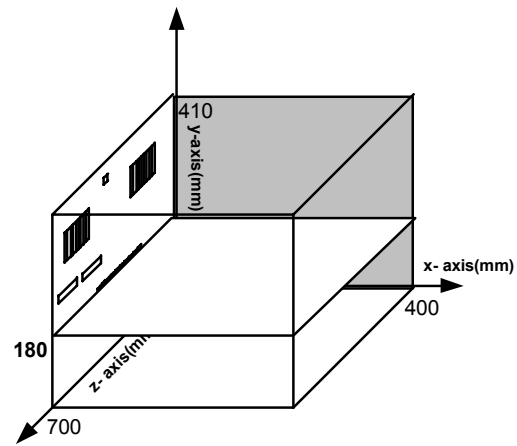
Fig. 3.11 Freezer room





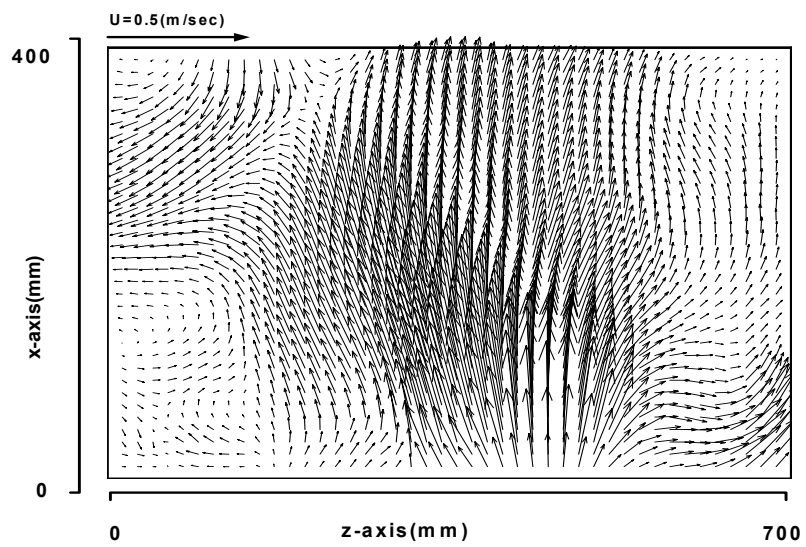
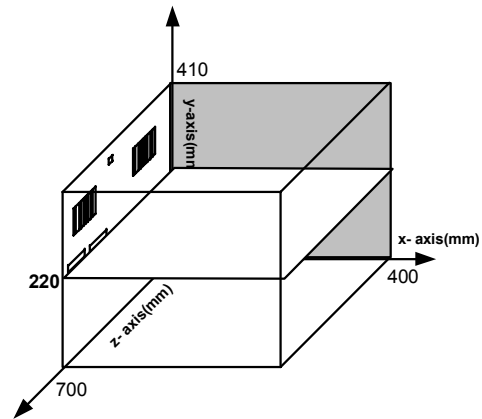
Time-mean velocity vectors (290mm)

Fig. 3.12 Freezer room



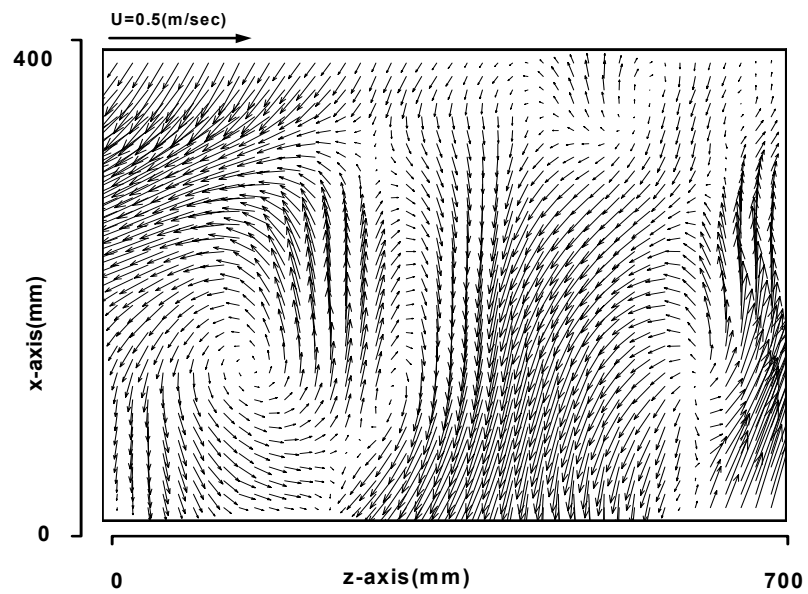
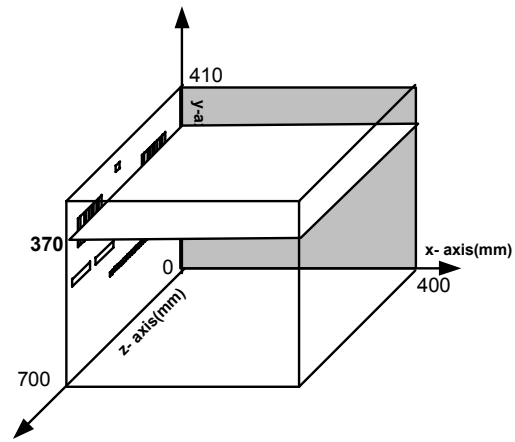
Time-mean velocity vectors (180mm)

Fig. 3.13 Freezer room



Time-mean velocity vectors (220mm)

Fig. 3.14 Freezer room



Time-mean velocity vectors (270mm)

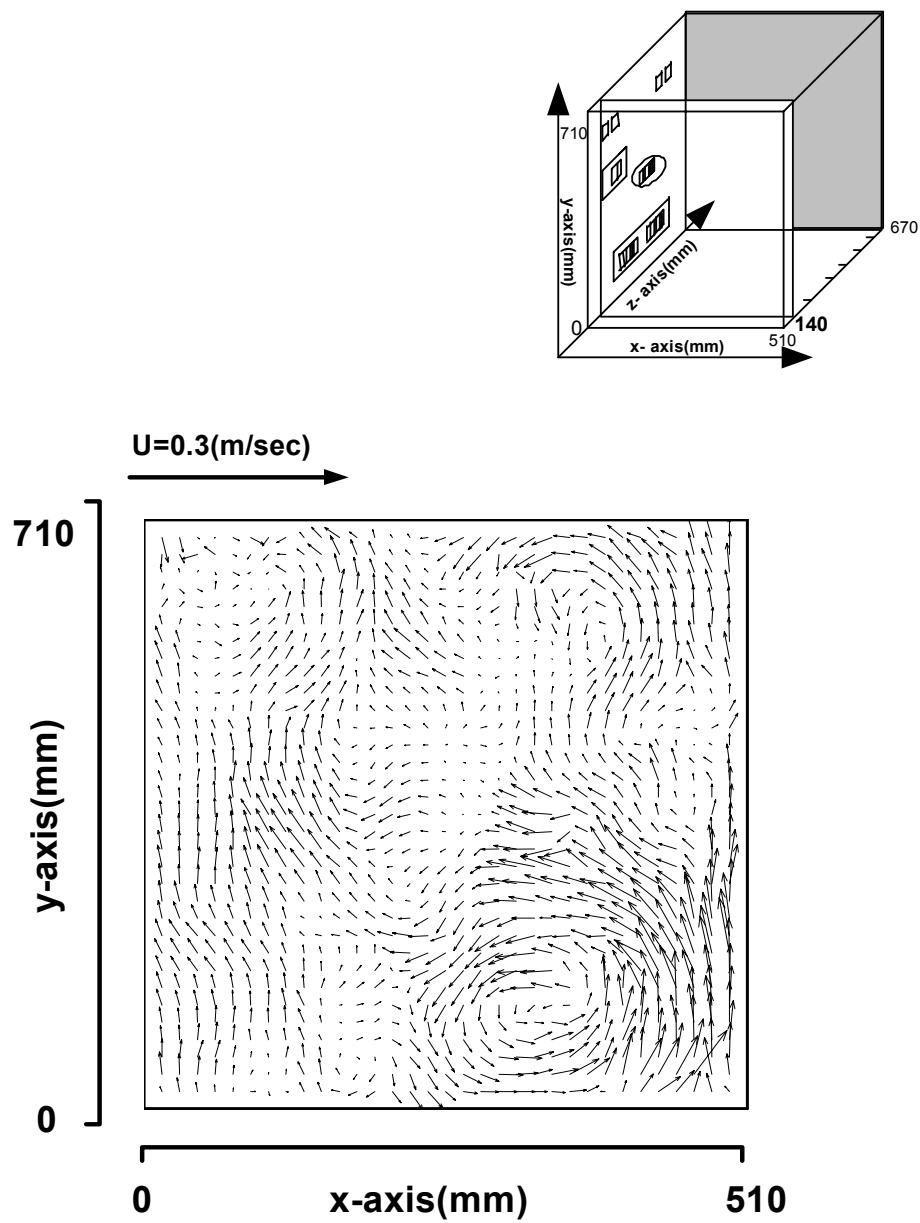
Fig. 3.15 Freezer room

### 3.2 냉장실의 순간 및 시간평균 속도분포

냉장실에서는 Fig. 3.16~3.19는 순간 속도 벡터이고, Fig. 3.20~3.22는 평균 속도 벡터를 나타낸 것이다. 냉동실 상부에 존재하는 냉기 순환용 팬에 의하여 냉장실에 30%의 냉기가 냉장실에 분배된 냉기는 Photo 2.1 (b)의 냉장실 냉기 유출구(1)~(5)를 통하여 냉기가 유출된다. 냉기 유출구(1), (2) 보다 냉기 duct 하부에 존재하는 냉기 유출구의 냉기 유출량이 많음을 알 수 있는데 이러한 이유는 냉장실로 분배된 냉기는 duct를 따라 흐르며 duct의 끝 부분에서 유동의 정체현상이 나타난다. 이와 같이 냉장실 상부 유출구보다 하부 유출구에서 더 많은 냉기가 유출된다. 냉기 유출구의 크기와 위치선정 문제는 실제 냉장고의 냉기 유출구 설계측면으로 볼 때 상당히 중요하다고 할 수 있다. Fig 3.16 (a),(b)  $z=140\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단면에서 냉기가 직접 방출되는 부분은 없으며 냉장실 하부에서 반 시계방향으로 와를 형성하며 상부로 유출됨을 알 수 있다. 이  $x$ - $y$ 단면의 유동장에서 주위에서의 냉기흐름이 반 시계방향으로 활발히 진행되고 있음을 보여준다.  $z=190\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단면에서 냉기가 직접 방출되는 부분은 없지만 Photo 2.1 (b)의 냉기 유출구(3)의 영향을 받아 오른쪽 하부에서 왼쪽 상부로 속도가 크게 나타나고 있으며 오른쪽 상부에서 하부방향으로 와를 형성하며 냉기가 하부로 유출됨을 보여준다.

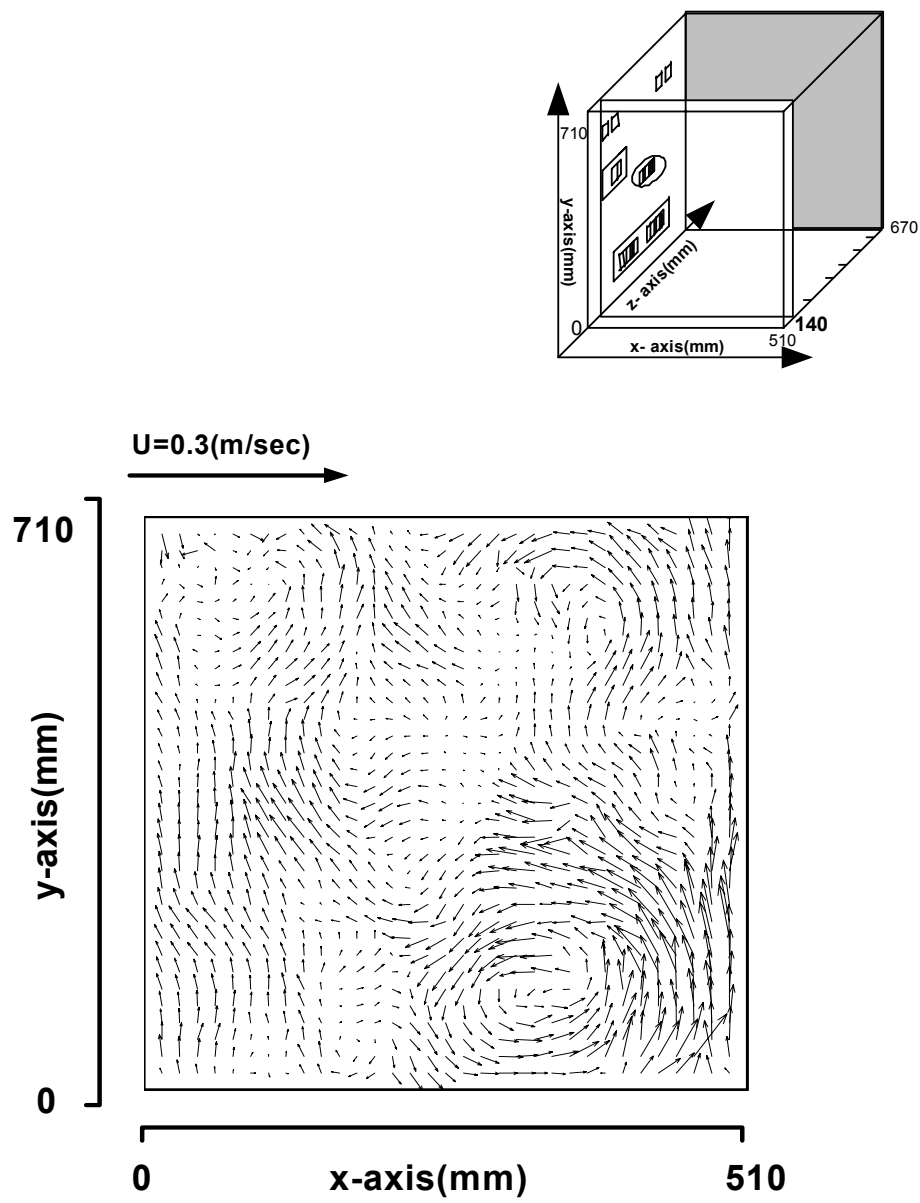
Fig. 3.17 (a), (b)  $z=360\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단면은 냉기 슬롯에서 방출되는 냉기의 영향을 받아 왼쪽 하부에서 오른쪽 하부로 냉기가 유출되고 있음을 알 수 있으며 오른쪽 하부에서 다시 왼쪽 상부로 강한 냉기의 흐름이 진행되고 있음을 알 수 있다. Fig. 3.18  $z=440\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단

면에서 전체적인 흐름은 왼쪽 상부에서 오른쪽 하부로 냉기가 주를 이루며 강하게 유출되고 있음을 알 수 있으며 오른쪽 상부에서 와가 형성됨을 알 수 있다.  $z=540\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단면에서의 유동특성은 왼쪽 상부에서 오른쪽 하부로 냉기흐름이 강하게 주를 이루고 있다. Fig. 3.19 (a), (b)  $z=640\text{mm}$ 인  $x$ - $y$ 단면에서 냉기 유출구의 영향을 받지 않는 부분으로 전체적으로 냉기가 상부에서 하부로 진행됨을 알 수 있다.



(a) Instantaneous velocity vectors(140mm,10℃)

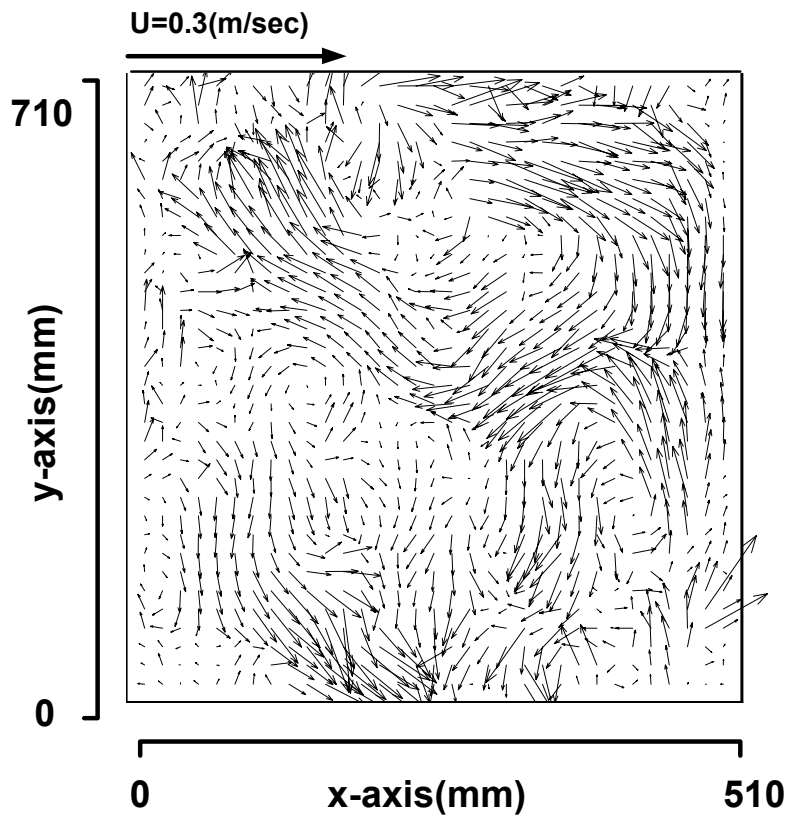
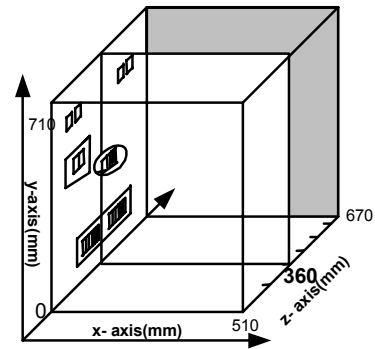
Fig. 3.16 Cold storage room



(b) Instantaneous velocity vectors(140mm,30℃)

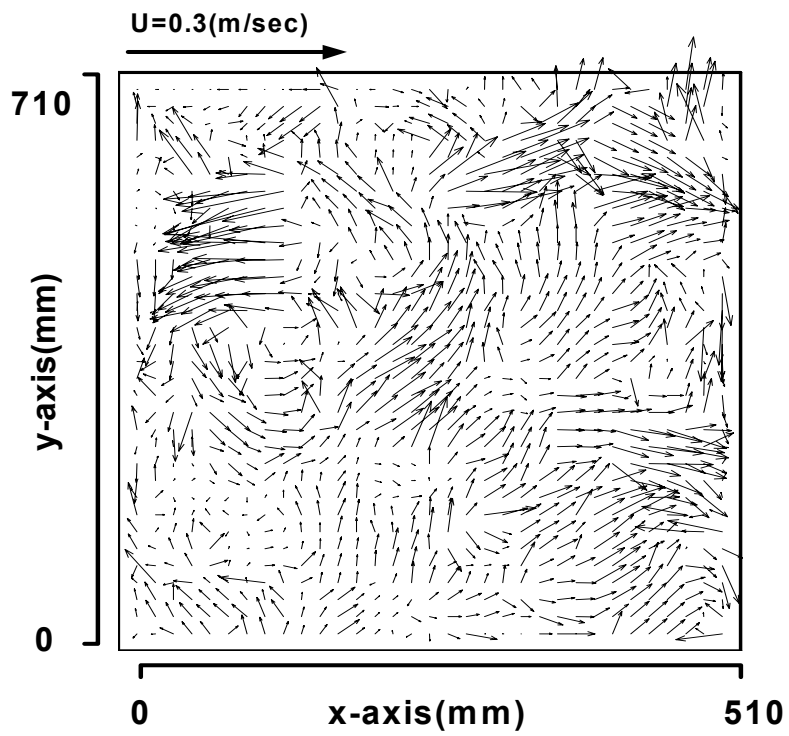
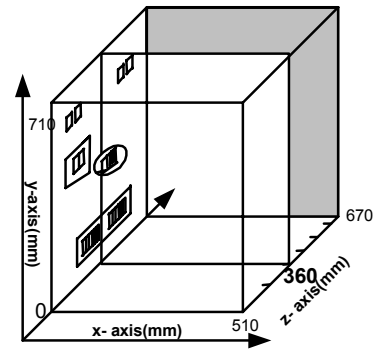
Fig. 3.16 Cold storage room





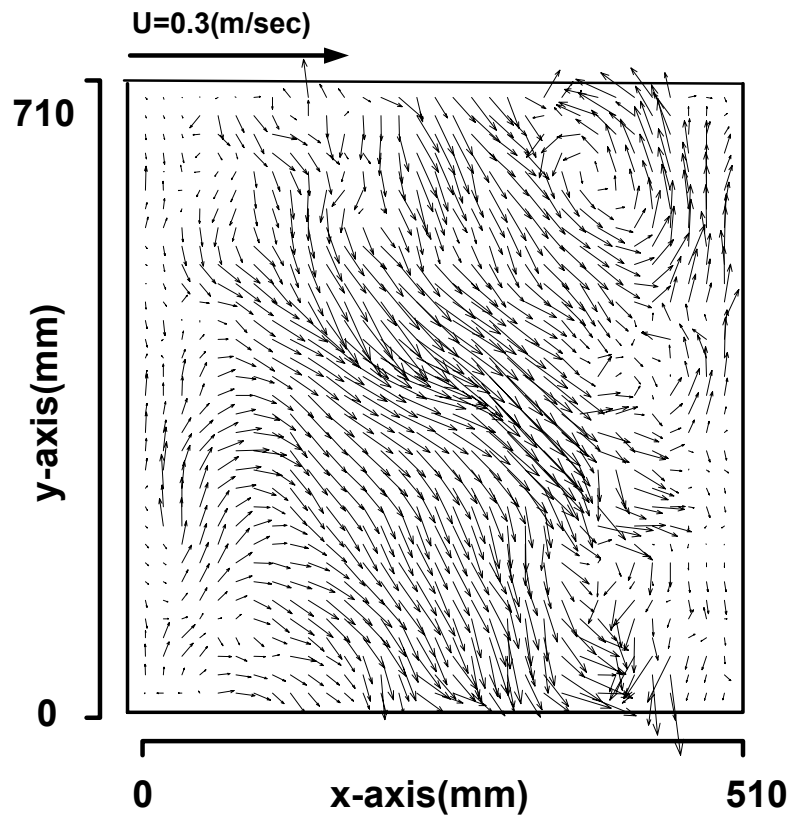
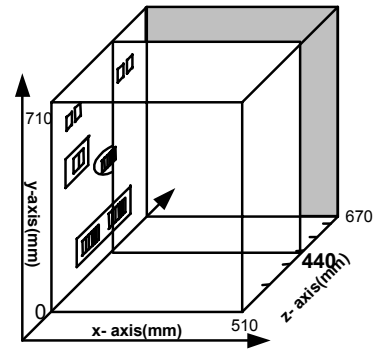
(a) Instantaneous velocity vectors(360mm,10℃)

Fig. 3.17 Cold storage room



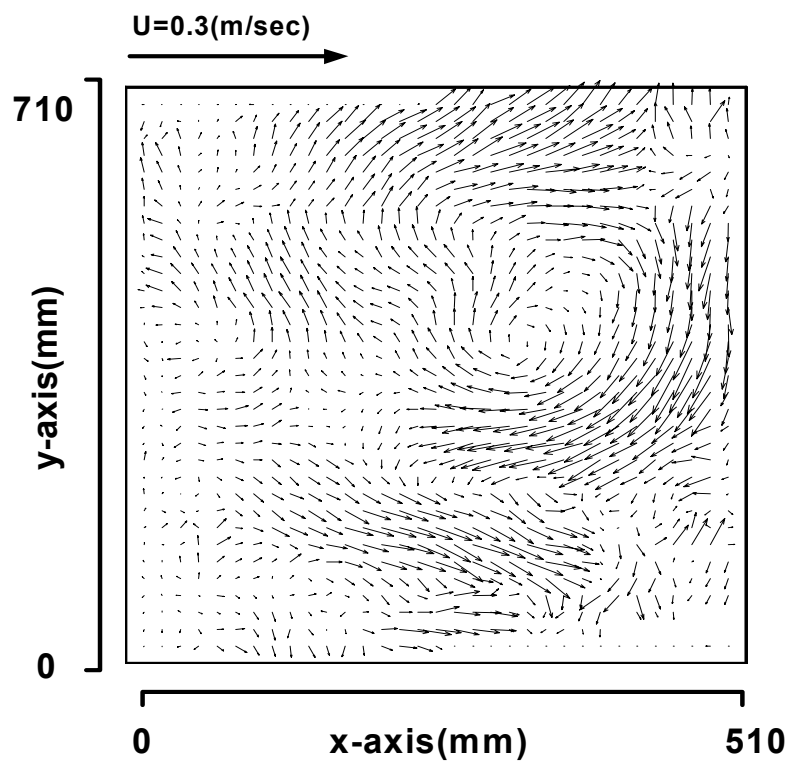
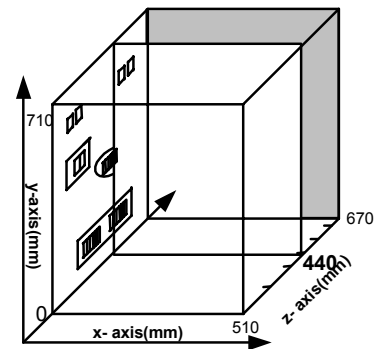
(b) Instantaneous velocity vectors(360mm,30℃)

Fig. 3.17 Cold storage room



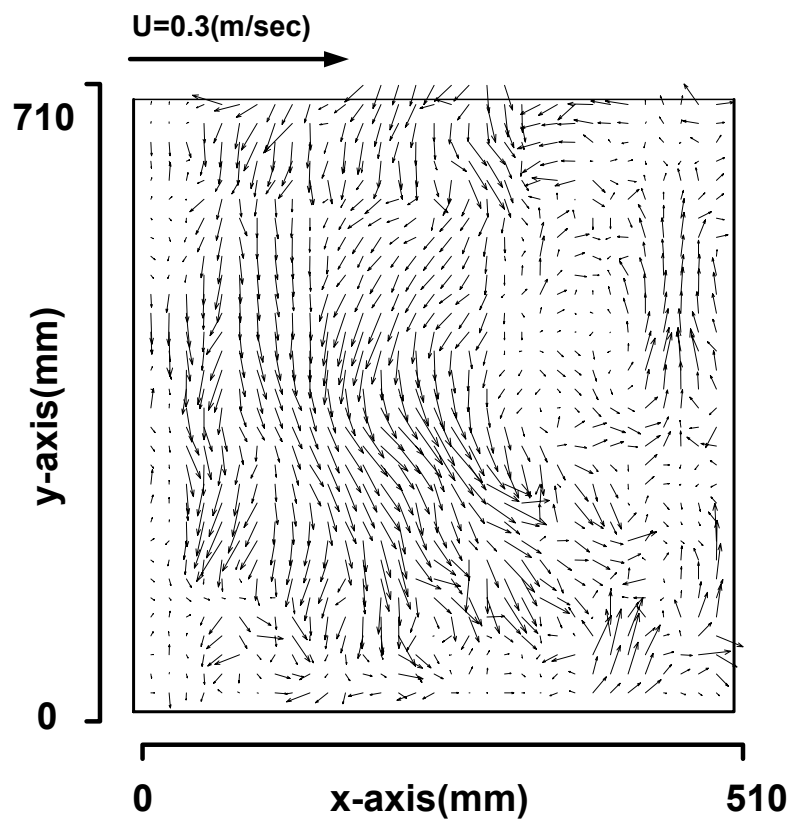
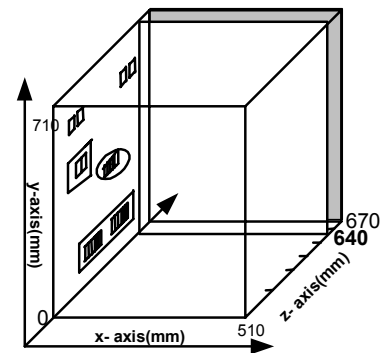
(a) Instantaneous velocity vectors(440mm,10℃)

Fig. 3.18 Cold storage room



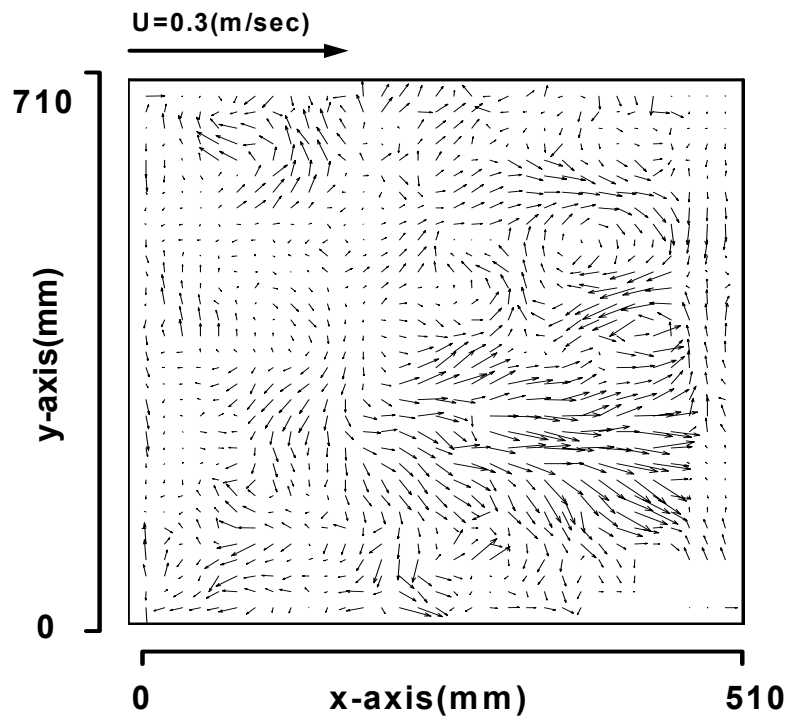
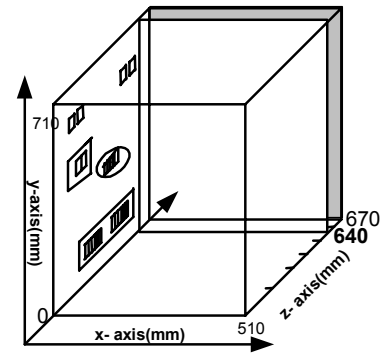
(b) Instantaneous velocity vectors(440mm,30℃)

Fig. 3.18 Cold storage room



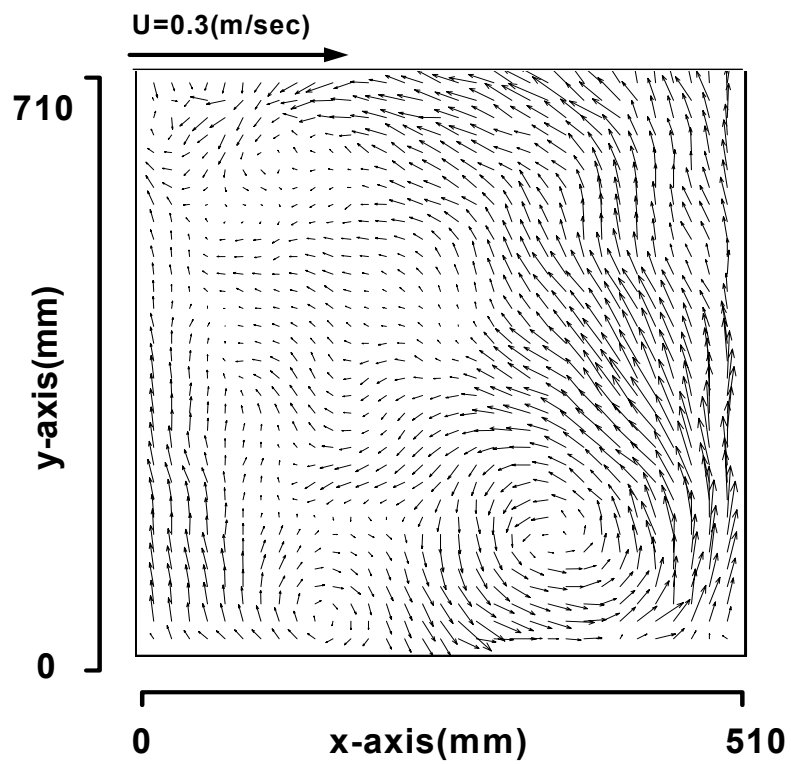
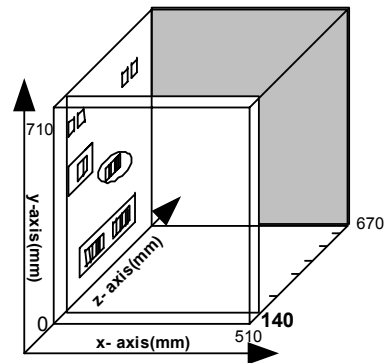
(a) Instantaneous velocity vectors(640mm,10℃)

Fig. 3.19 Cold storage room



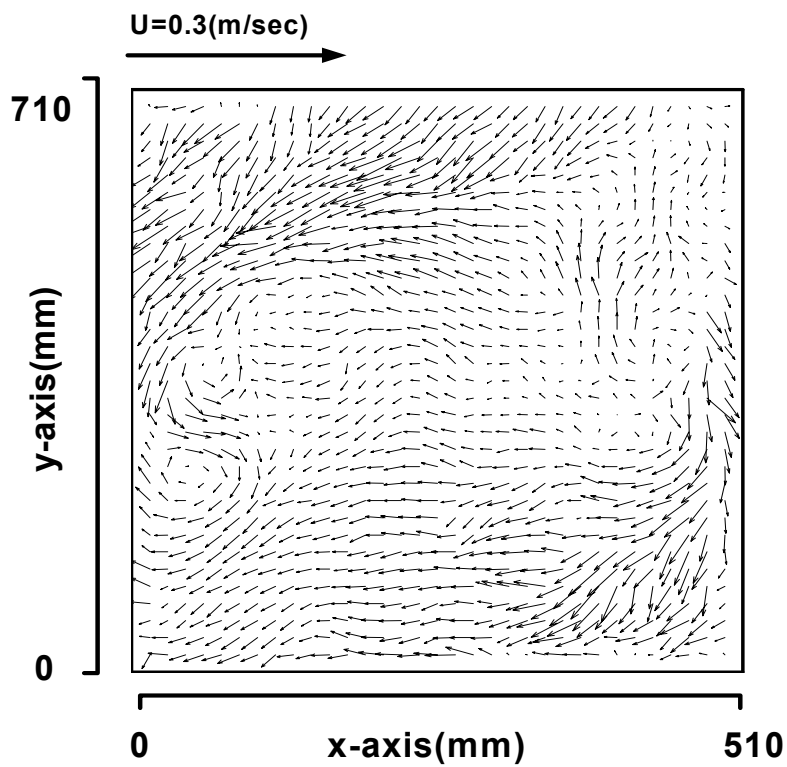
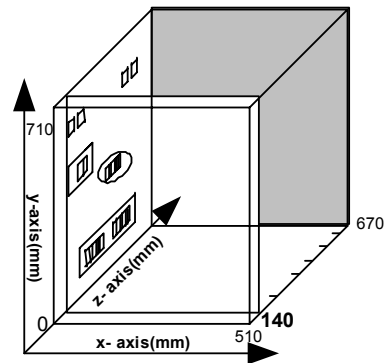
(b) Instantaneous velocity vectors(640mm,30℃)

Fig. 3.19 Cold storage room



(a) Time-mean velocity vectors(140mm,10°C)

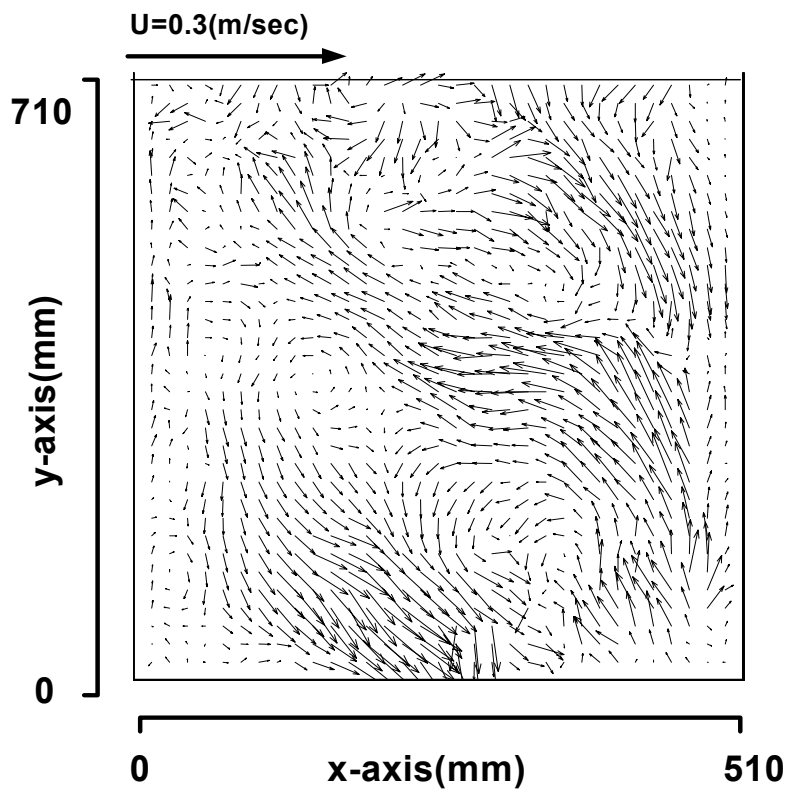
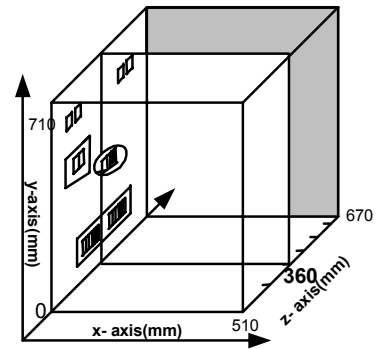
Fig 3.20 Cold storage room



(b) Time-mean velocity vectors(140mm,30℃)

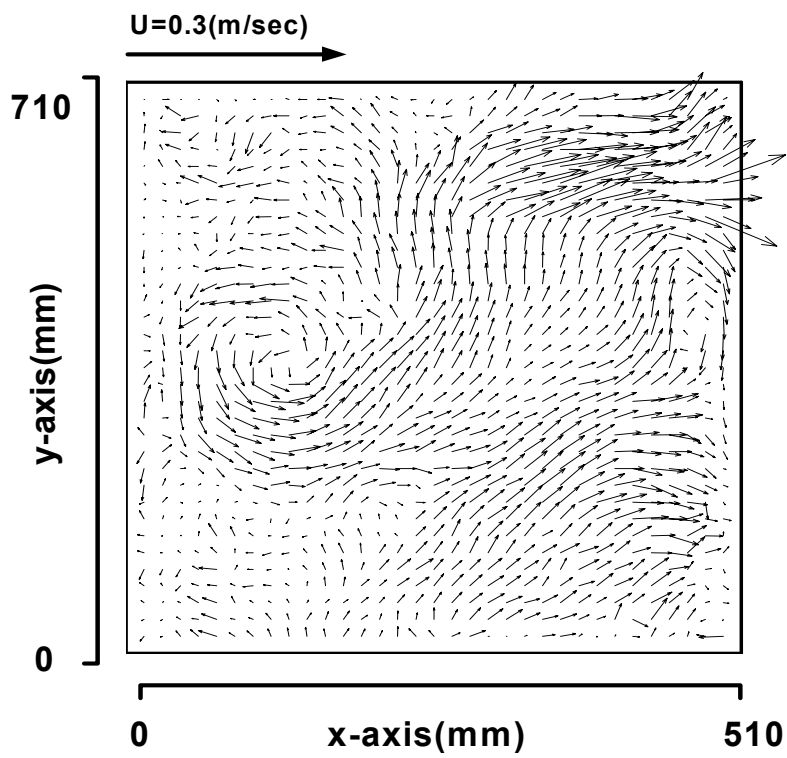
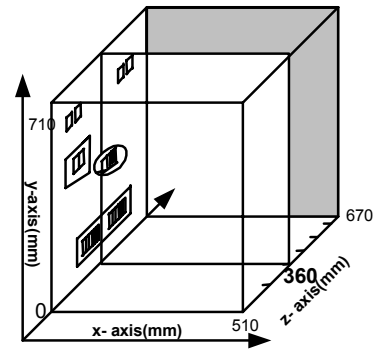
Fig 3.20 Cold storage room





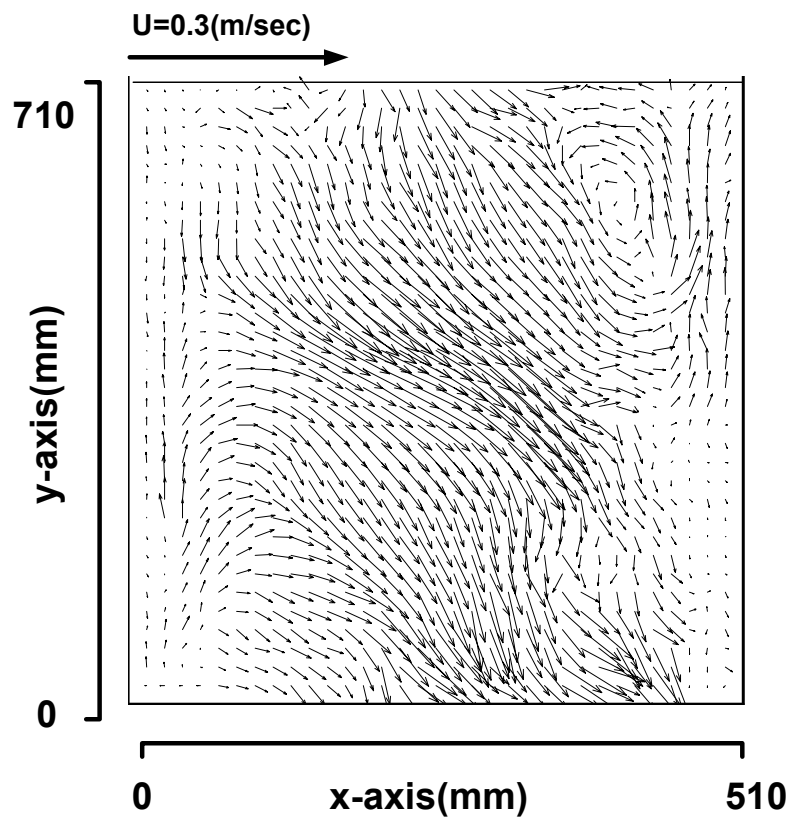
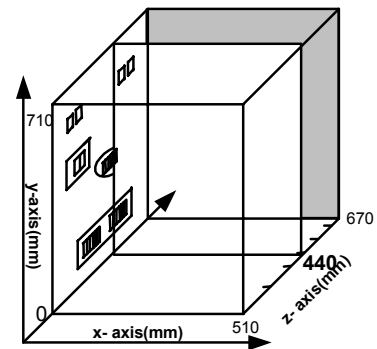
(a) Time-mean velocity vectors(360mm,10℃)

Fig 3.21 Cold storage room



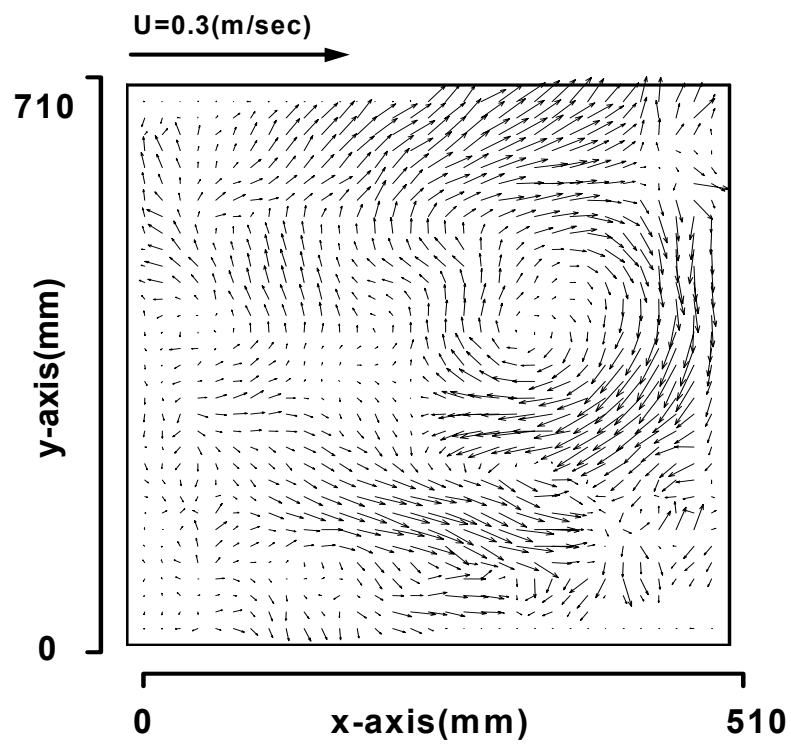
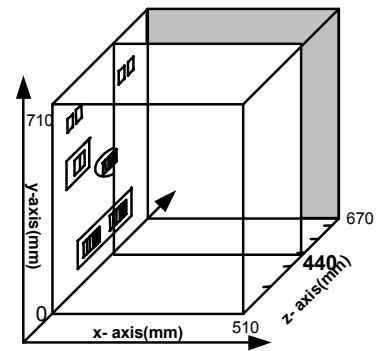
(b) Time-mean velocity vectors(360mm,30℃)

Fig 3.21 Cold storage room



(a) Time-mean velocity vectors(440mm,10℃)

Fig 3.22 Cold storage room

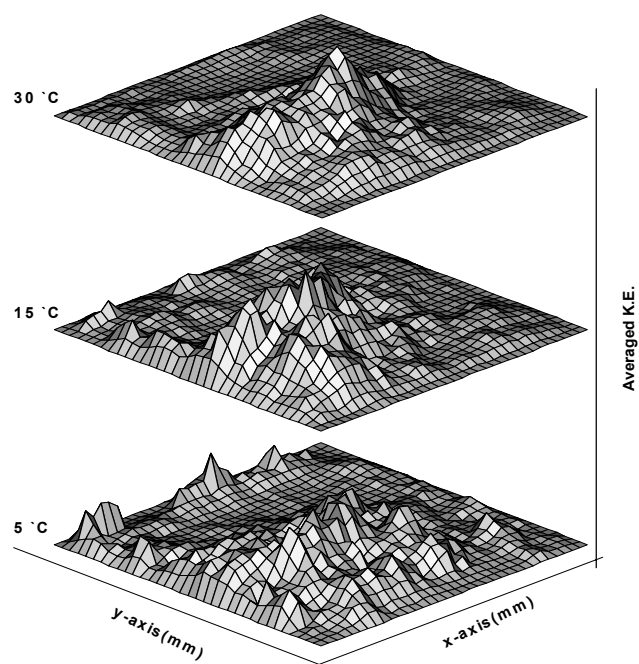


(b) Time-mean velocity vectors(440mm,30℃)

Fig 3.22 Cold storage room

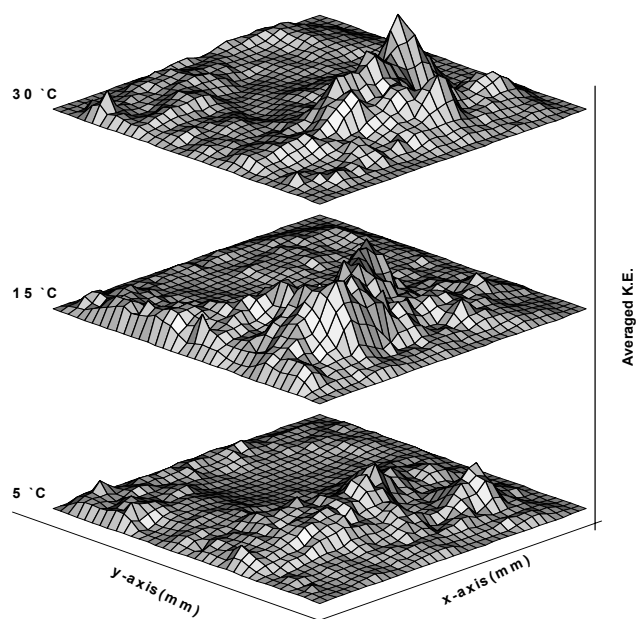
### 3.3 평균운동에너지 분포

Fig. 3.23 (a)~(i)와 Fig. 3.24 (a)~(f)는 온도의 변화에 따른 냉동실(30℃, 15℃, 5℃)와 냉장실(30℃, 10℃)의 평균 운동에너지를 3차원적으로 나타낸 것이다. 운동에너지 분포에서도 알 수 있는 바와 같이 냉동실 상부 냉기 토출구 Photo 2.1 (a) (2),(6)부분은 15°기울어져 나오는 냉기 그리고 얼음 케이스 바로 밑 부분 냉기 토출구 (1),(3)에 나오는 냉기에 의해 냉동실 내의 유동 패턴은 크게 달라진다. Fig. 3.23 (a),(b)의 운동에너지는 온도가 낮아짐에 따라서 활발해지나 온도가 높을 때 최대 속도는 커짐을 알 수 있다. Fig. 3.23 (c)에서는 냉기 토출구 (1),(3)에서의 영향으로 운동에너지가 크게 분포됨을 알 수 있다. Fig. 3.23 (e)에서의 운동에너지는 냉기 토출구 (5)의 영향으로 냉동실 도어에 부딪혀 상부 와 하부로 순환함을 보여주고 있다. 냉장실도 마찬가지로 토출구에서 냉기가 흘러나가는 부분에 운동에너지가 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 상단보다는 하단에서의 운동에너지가 강함을 알 수 있다. Fig. 3.24 (a)~(f)중 냉기가 직접적으로 유출되는 (c),(d),(e)에서의 운동에너지가 크게 작용함을 보여준다. Fig. 3.25 ~3.27 및 Fig. 3.28은 5℃, 15℃, 30℃ 냉동실 및 10℃, 30℃ 냉장실내 온도변화를 주었을 때 각각의 영역에서의 속도 분포를 contours로 나타낸 것이다.



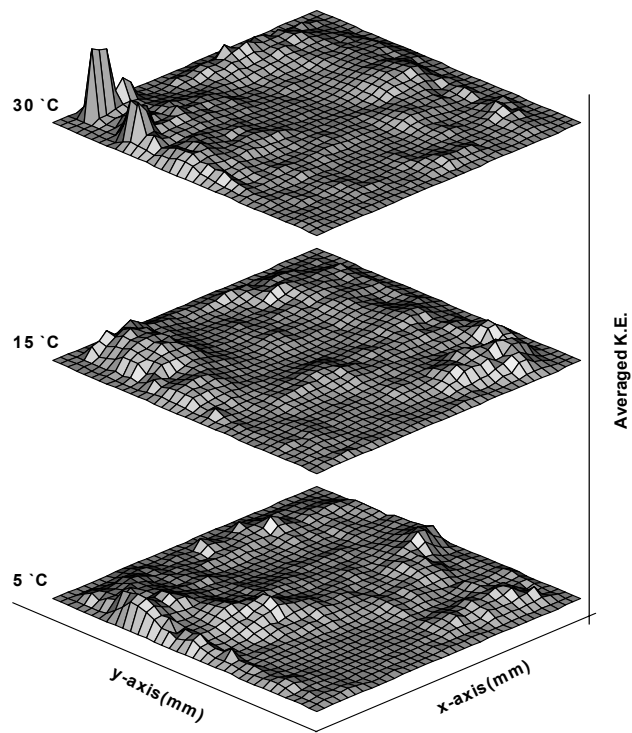
(a) Time-mean kinetic energy distribution (40mm)

Fig. 3.23 Freezer room



(b) Time-mean kinetic energy distribution (80mm)

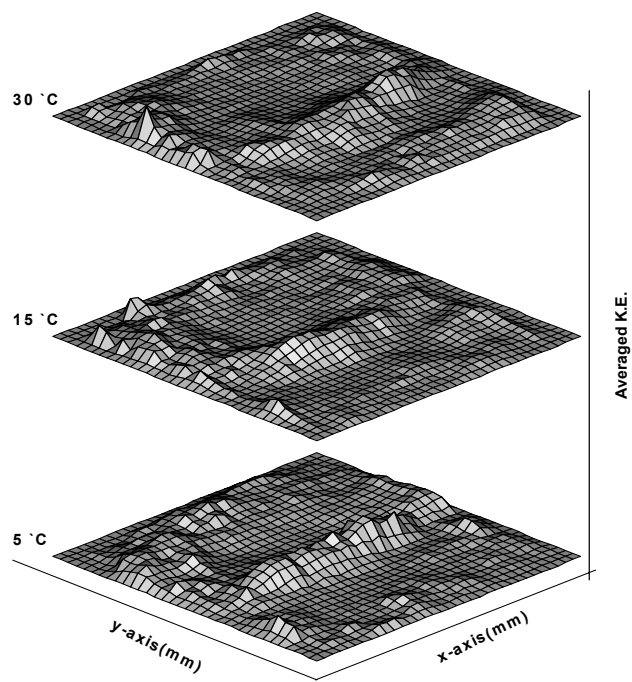
Fig. 3.23 Freezer room



(c) Time-mean kinetic energy distribution (140mm)

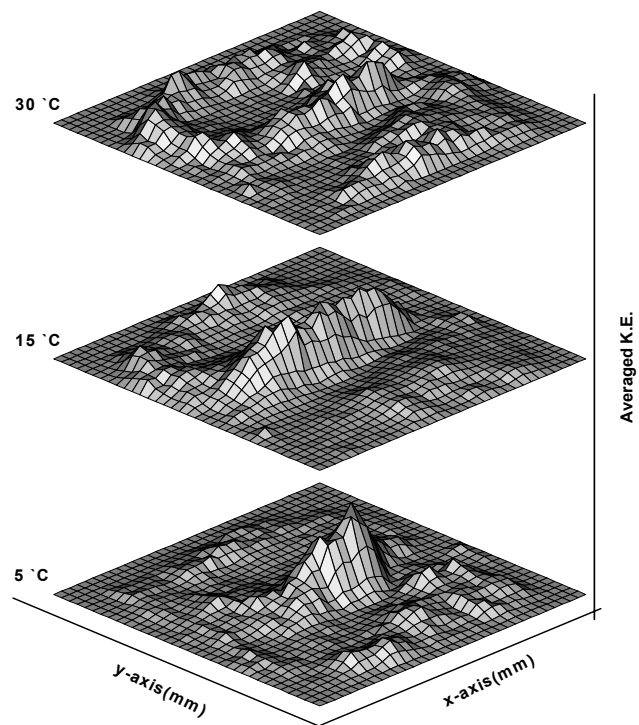
Fig. 3.23 Freezer room





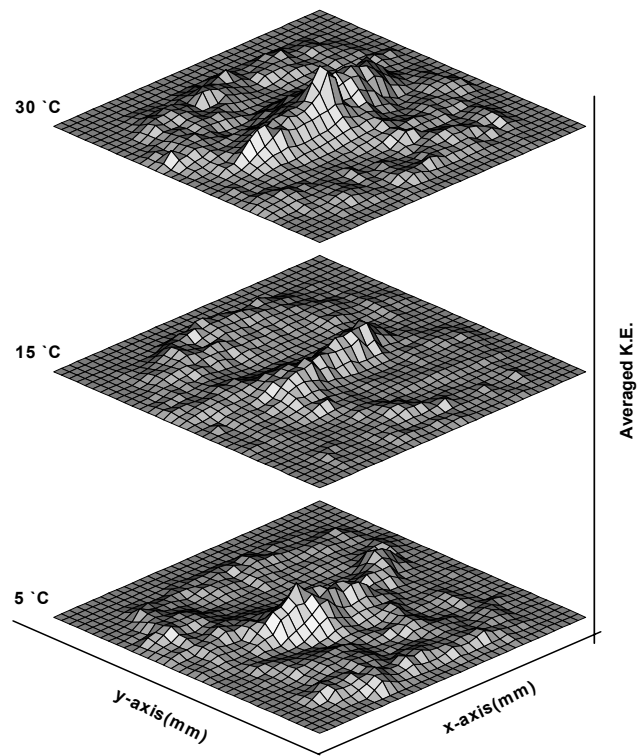
(d) Time-mean kinetic energy distribution (200mm)

Fig. 3.23 Freezer room



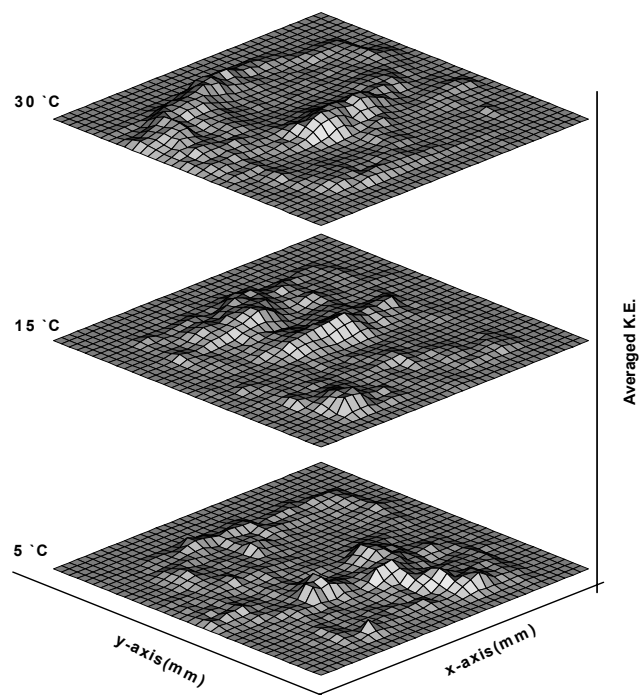
(e) Time-mean kinetic energy distribution (300mm)

Fig. 3.23 Freezer room



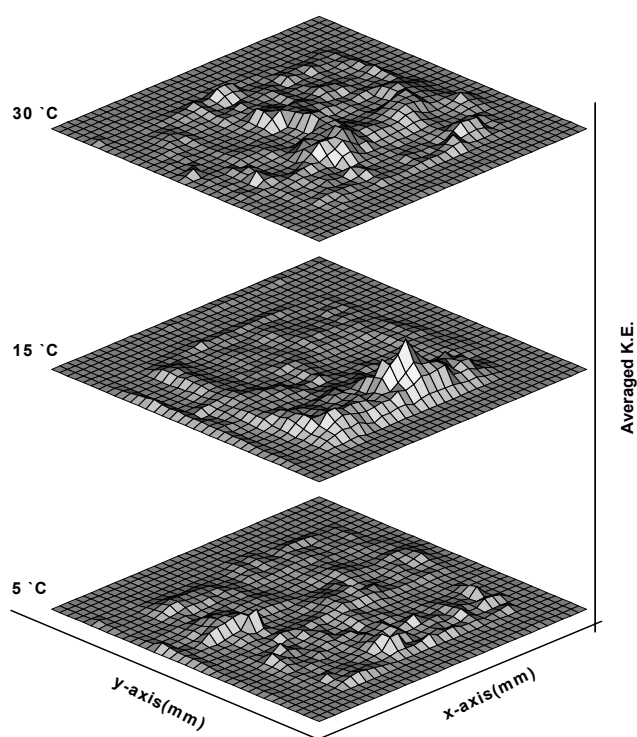
(f) Time-mean kinetic energy distribution (370mm)

Fig. 3.23 Freezer room



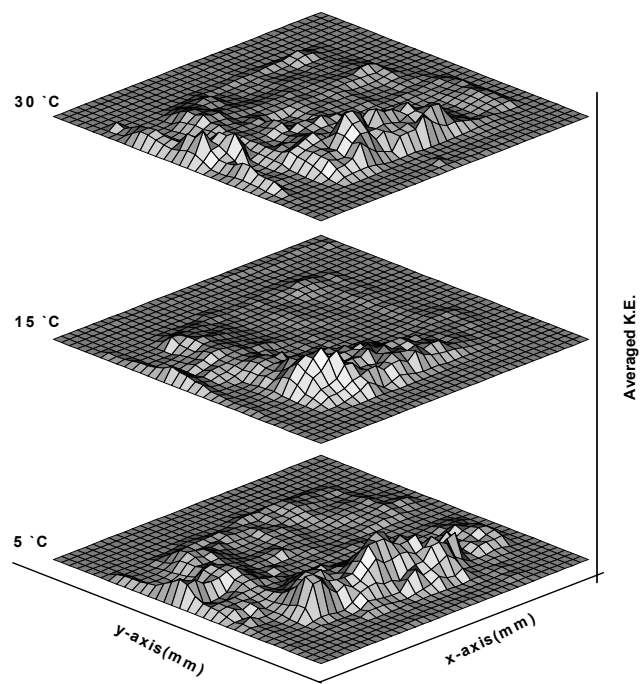
(g) Time-mean kinetic energy distribution (470mm)

Fig. 3.23 Freezer room



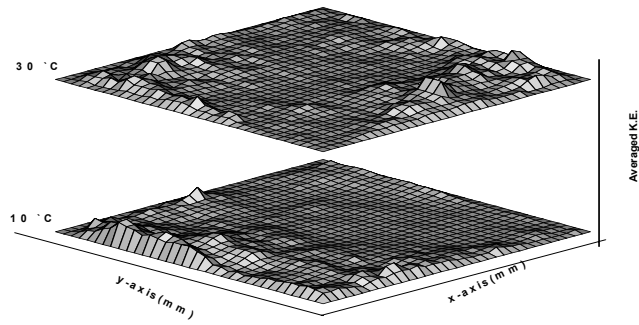
(h) Time-mean kinetic energy distribution (560mm)

Fig. 3.23 Freezer room

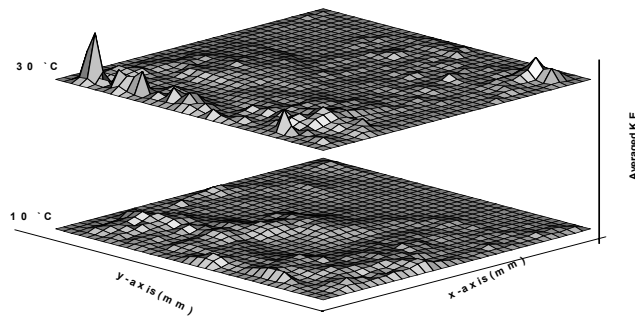


(i) Time-mean kinetic energy distribution (670mm)

Fig. 3.23 Freezer room

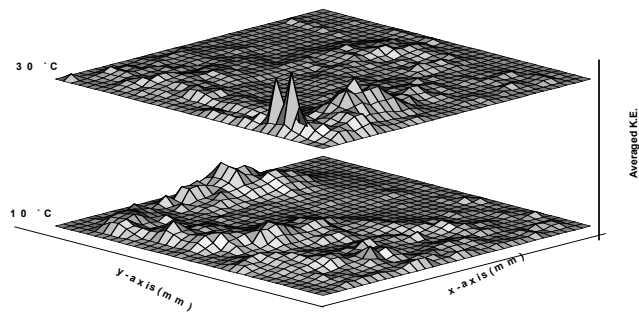


(a) Time-mean kinetic energy distribution (140mm)

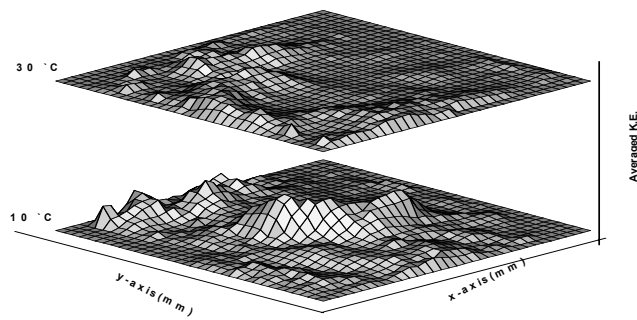


(b) Time-mean kinetic energy distribution (190mm)

Fig. 3.24 Cold storage room



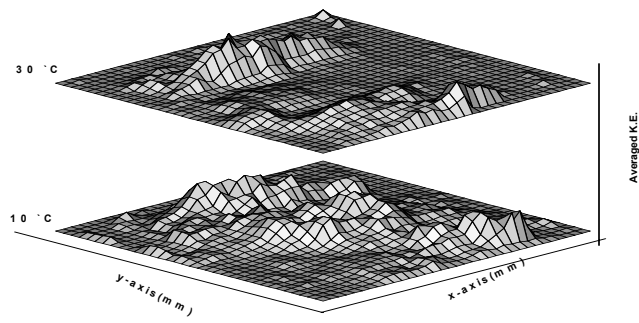
(c) Time-mean kinetic energy distribution (360mm)



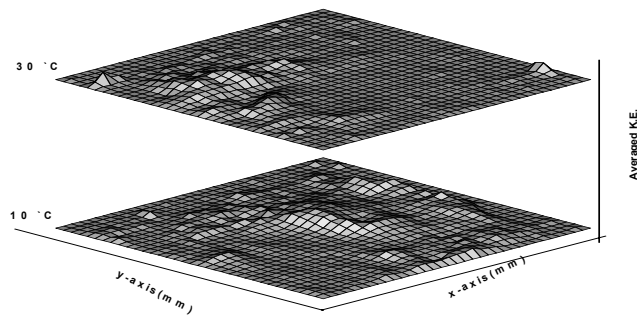
(d) Time-mean kinetic energy distribution (440mm)

Fig. 3.24 Cold storage room





(e) Time-mean kinetic energy distribution (540mm)



(f) Time-mean kinetic energy distribution (640mm)

Fig. 3.24 cold-storage room

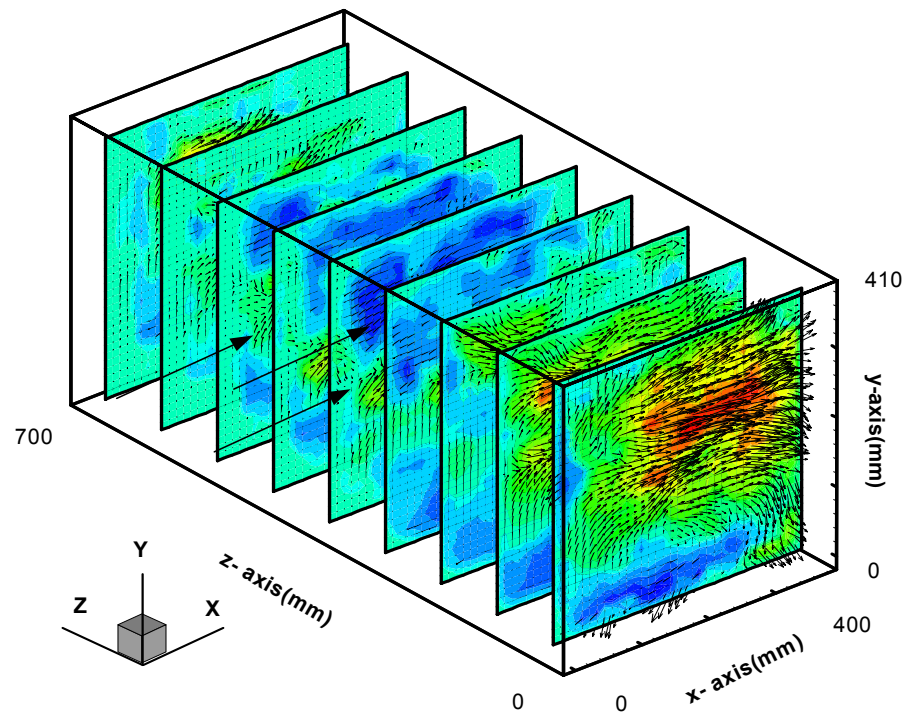


Fig. 3.25 Velocity distribution in freezer room (5°C)

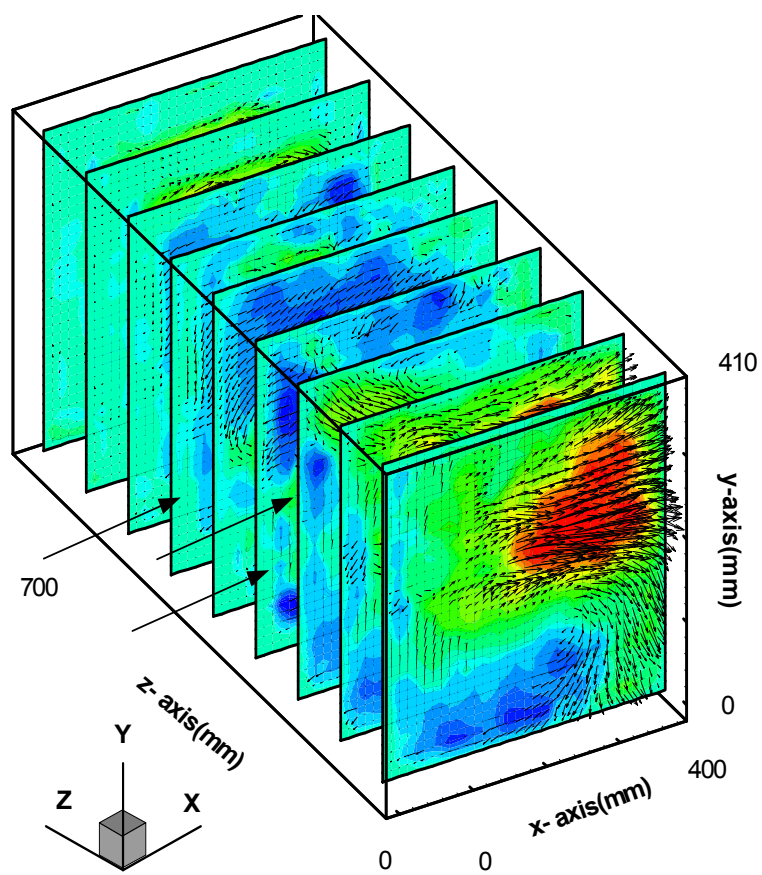


Fig. 3.26 Velocity distribution in freezer room (15°C)

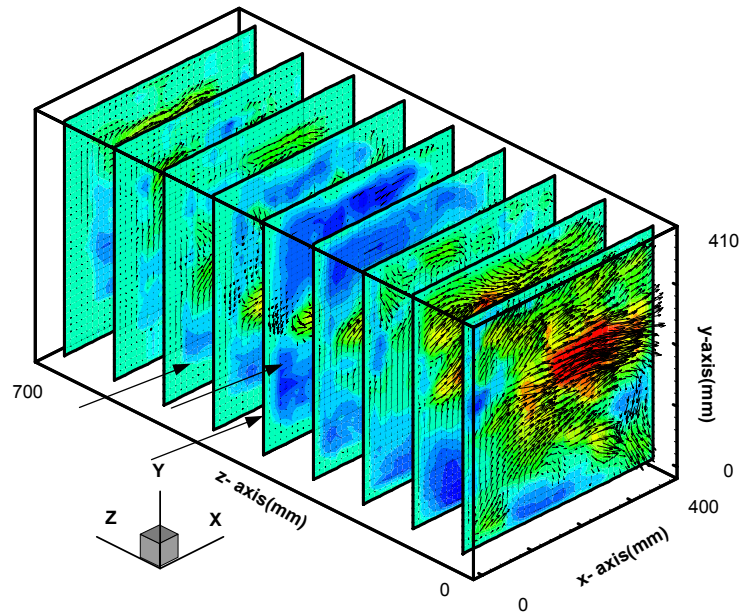


Fig. 3.27 Velocity distribution in freezer room (30°C)

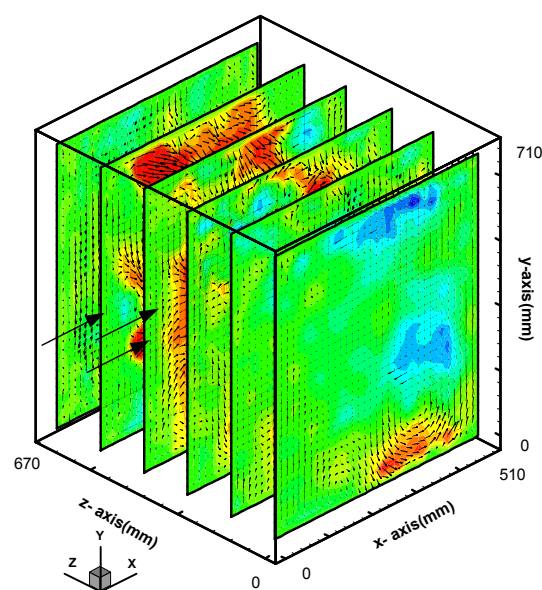


Fig. 3.28 Velocity distribution in cold-storage room (10°C)

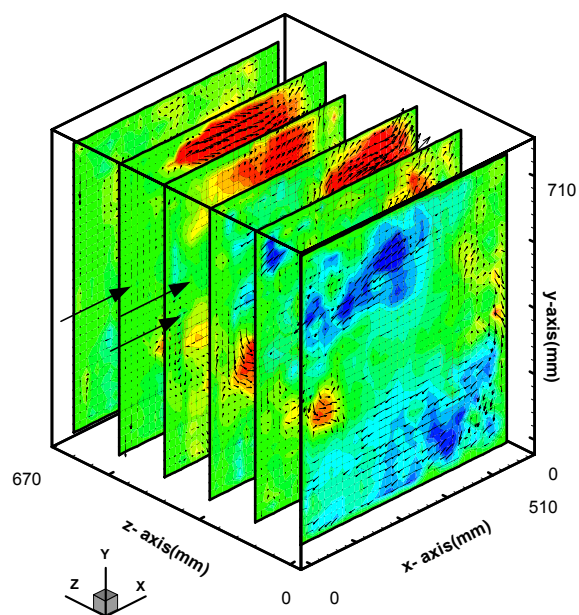


Fig. 3.29 Velocity distribution in cold-storage room (30°C)

### 3.4 냉동실 및 냉장실의 속도 분포 비교

가정용 냉장고의 냉기의 속도분포는 냉동실 및 냉장실내 온도와 밀접한 관계를 갖는다. 즉 냉기 순환이 잘된다는 것은 그 부분에서의 속도가 빠르다는 것과 일치하다. 냉장고의 냉기 유출과 같은 강제 대류에서는 온도의 변화에 따른 유동장에서의 속도와 냉기흐름에 영향을 주는 요인이 된다.

Fig. 3.30은 냉동실에서의 z축에 따라 40, 80, 140, 200, 300, 370, 470, 560, 670mm 부등 간격으로 온도 5℃, 15℃, 30℃의 순간 속도를 비교한 분포도이다. 본 도표에서 알 수 있듯이 냉기가 나오는 부분의 case에서는 냉기유량도 많이 나옴을 알 수 있고 온도가 높을수록 냉기의 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

Fig. 3.31은 냉동실에서의 z축 방향의 상기와 같은 조건하의 평균속도 분포를 나타낸 것이다. 시간이 지나면서 온도에 따른 각각 다른 분포를 나타냈으며 z축을 기준으로 140mm지점에서와 470mm지점에서는 속도가 작아짐을 알 수 있다. 그 이유는 140, 470mm지점의 냉기 슬롯에서 냉기가 유출되지만 15°기울어져 있기에 냉기가 양 벽을 타면서 냉동실 door쪽으로 진행함을 알 수 있다. 본 실험에서는 속도가 느린 영역에서의 유동장은 속도가 빠른 영역의 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며 이로 인해 와를 발생시키는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.32 냉장실 z축 방향으로 140, 190, 360, 440, 540, 640mm 유동장에서 순간 속도 분포를 나타낸 것이다. 냉동실과 다르게 전체적으로 균등하게 냉기가 분포됨을 알 수 있다.

Fig. 3.33 냉장실 z축 방향으로 상기와 같은 조건으로의 평균속도 벡

터의 분포이다. 유동장에 냉기가 균일하게 분포해 있음을 알 수 있다.

## 제4장 결론

본 연구에서 실제 500ℓ 급 가정용 냉장고의 냉동실과 냉장실내의 냉기 특정부에 대하여 냉기 유동 흐름을 PIV로 적용하여 고찰하였다. 냉동실 및 냉장실내의 유동 특성을 PIV를 적용하여 다음과 같은 결과를 내릴 수 있었다.

1) 냉장고와 같은 넓은 유동장의 PIV 계측은 고 레이저광을 요하는 단점이 있으므로 저 레이저광을 사용해서 냉장고내의 입자를 추적하는데 어려움이 많아 이를 보완하기 위해 영상강화 카메라를 사용하여 넓은 냉장고내의 유동장의 입자 추적을 용이하게 하였다.

2) 냉동실과 냉장실에서 계측한 유동장은 슬롯에서 나오는 냉기가 전체 유동장에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

3) 냉동실에서 140mm, 200mm 영역과 400mm, 560mm영역의 속도가 다른 영역에 비해서 느리게 나타났다. 이와 같은 이유는 냉기 슬롯 (2),(6)이 15°기울어져 있어 전체 냉기 흐름을 지배하기 때문이다. 이런 영역에서의 냉기의 흐름을 빠르게 하여 전체 유동장의 냉기분포를 균일하게 하는 것이 설계 측면에서 중요한 요소이다.

4) 냉장실 하단부의 냉기 유출구가 냉기 정체로 인하여 상단부 보다 하단부가 많은 양의 냉기가 유출됨을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 냉장실의 냉기 유출구 설계에 있어서 반드시 고려해야할 대상이



다.

5) 온도변화에 따른 냉기 유동특성은 냉장고내의 온도가 낮을 때 보다는 온도가 높을 때 냉장고 전체 유동장에 미치는 영향이 큼을 알 수 있었다.

이상의 결론을 토대로 냉장고 내부의 유동특성과 관련한 냉장고 성능을 보다 정량적으로 평가할 수 있는 3차원적 계측의 비교, 검토연구는 차후의 연구과제로 남기고자 한다.

## 참고문헌

- [1] Bansal P. K., Kruger R., Test standards for household refrigerators and freezers I: preliminary comparisons, Int. J. Refrig, Vol 18, No. 4, 1995, pp.4-17.
- [2] Radermacher R., Kim K., Domestic refrigerators: recent developments, J. Refrig, Vol 19, No. 1, 1996, pp.61-69.
- [3] 오민정, 이재현, 오명도, 냉장고 내부의 냉기 유동특성에 관한 3차원 해석, 공기조화냉동공학 논문집, 제7권 제3호, 1995, pp.382-395.
- [4] 엄윤섭, 부정숙, 윤인철, 냉장고의 냉기 덕트 내부의 유동 해석, 한국박용기관학회지, Vol. 24, No. 4, 2000, pp.117-122.
- [5] 김진영, 양창조, 김정환, 이영호, PIV에니메이션에 의한 가정용 냉장고 냉동실의 냉기 순환 해석, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, 2000, pp.686-691
- [6] Mahesh Lavanis , Imam Haider, Ph.D., Reinhard Radermacher, Ph.D., Experimental Investigation of an Alternating Evaporator Duty Refrigerator/Freezer. ASHRAE Transactions: Symposia. TO-98-18-11, pp.1103-1111
- [7] P.K. Bansal, Ph. d., P.E., Oscar S. Van Neuren, An Experimental Study on New Egg-Crate Type Evaporators in Domestic Refrigerators and Freezers. ASHRAE Transactions: Symposia. TO-98-18-2, pp.1112-1117

- [8] Nishino K., Kasagi N. and Hirata M., Tree-dimensional Particle tracking velocimetry based on automated digital image processing. ASME J. Fluids Eng., Vol.111 No.4, pp.384-391,1989
- [9] Doh D.H., Choi S.H., Hong S.D., Cho K.R., Turbulence Measurement of a Backward-Facing Step Flow with Single-Frame 3D-PTV, Proc. of the 1st National Congress on Fluids Engineering, Muju, 2000
- [10] Lee Y.H., Nam C.D., Choi J.W., Lee H., Animation Understanding of 2-D Simple Bluff bodied Flows by Multi-Vision PIV, Proc. of the 9th International Symposium on Flow Visualization, Edinburgh, 2000.
- [11] Lee Y.H, LEE H., Choi J.W., Yulin Wu, Kazuhiro T., Animation Technique Applied to a Fixed and Pitching Airfoil by Particle Image Velocimetry(PIV), Proc. of the 2nd Int. Symp. on Fluid Machinery and Fluid Machinery and Fluid Engineering, Beijing, CHINA, 2000.
- [12] Hu H. , Saga T., Kobayashi T., Okamoto K. and Taniguchi N.,Evaluation of Cross Correlation Method by using PIV Standard Images, Journal of Visualization, Vol. 1, No. 1, 1998, pp.87-94.
- [13] 임유청, 서민식, 이영호, PIV를 이용한 터빈 펌프의 동·정익 속도장 측정, 유체기계저널, 제2권 제1호, pp.396-400, 1999
- [15] 이영호, 최장운, PIV에서의 제조치 상호상관법 개발, 대한기계학회춘계학술대회 논문집 B, pp.396-400, 1996

## **감사의 글**

본 논문이 완성되기까지 세심한 관심과 사랑으로서 지도를 하여주신 이영호 지도교수님께 진심으로 감사를 드리며, 심사과정을 통해 세심한 심사와 조언을 아끼지 않으신 남청도 교수님과 정형호 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 논문이 완성되기까지 많은 도움과 학문적인 힘이 되어주신 최민선 교수님, 김진구 교수님, 조대환 교수님, 김유택 교수님, 묵묵히 자리를 지키며 후배들에게 조언을 해주시는 최장운 선배님께 감사를 드립니다. 또한 IIT의 이현, 김미영 연구원에게도 감사를 포함합니다. 유동 정보 연구실의 식구들로 실장을 맡으며 후배들에게 아낌없는 지도와 격려를 하시는 정환이형, 종석이형, 효남이형, 신정이, 진영이, 종웅이, 범석이, 구만이, 준욱, 장오, 성윤, 주연, 미영이 에게도 고마움을 포함합니다. 일본에서 열심히 학업에 전념하시는 영도형, 창조형, 유청이형 에게도 고마움을 표하고 싶습니다. 직장에 다니시면서 학업에 전념하시는 김영수 사장님, 서광옥 사장님, 배봉갑 사장님, 후배들에게 따스하고 자상하게 조언을 해주시는 김성동 감사원님, 김동찬 감사원님, 그리고 이영석 감사원님, 김창수 선배님, 송근택, 안경훈, 연제문 선배님께도 감사를 포함합니다. 그리고 대학원이라는 길의 선택, 힘들고 어려울 때마다 형같이 조언을 해준 민식이형 에게 감사를 포함합니다. 또한 바쁘고 힘들 회사 일정에 시간을 배려해주신 선택식 이사님께 진심으로 감사를 드립니다.

한 울타리 안에서 저에게 사랑과 기쁨 때로는 용기와 희망을 주신 아버지님, 어머니님, 누님, 자형, 형님, 형수님, 막춘(막내삼촌)이라 부르는 사랑하는 우리조카들 주성이, 서연이, 다연이, 나의 사랑하는 가족들에게 감사를 드립니다. 그리고 바쁘다고 소홀하게 대하지만 나에게 항상 긍정적이고 밝은 모습으로 맞아 주는 상애 씨에게 고마움을 포함합니다.

마지막으로 이런 논문을 나올 수 있게 해주신 자애와 사랑의 하나님께 감사를 드리며 이 글을 마치고자 합니다.